

Universidad Hispanoamericana

Escuela de Ingeniería Electrónica

**PROYECTO PARA OPTAR EL GRADO DE BACHILLERATO EN LA CARRERA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**

**Diseño e implementación de un prototipo de impresora 3D, en el segundo semestre del
2025**

Sustentante:

Adrián Enrique Vega Moreira

Tutor:

Jorge Villalobos Cascante

Noviembre, 2025

Tabla de Contenido

<i>Tabla de Contenido</i>	<i>ii</i>
Índice de Figuras	vii
Índice de Tablas	x
<i>Declaración Jurada</i>	<i>xi</i>
<i>Carta del Tutor</i>	<i>xii</i>
<i>Carta del Lector</i>	<i>xiii</i>
 Capítulo I	
<i>Problema del Proyecto</i>	15
1.1 Justificación del proyecto	16
1.2 Definición del Problema	17
1.2.1 Diagrama de causa y efecto (Ishikawa).....	18
1.2.2 Planteamiento de la Pregunta de Investigación	20
1.3 Objetivo General y Objetivos Específicos	20
1.3.1 Objetivo general	21
1.3.2 Objetivos específicos	21
1.4 Alcances y Limitaciones	23
1.4.1 Alcances.....	23
1.4.2 Limitaciones	24
 Capítulo II	
<i>Marco Teórico</i>	26

2.1.1	Tecnología de Impresión 3D: Concepto y Evolución	27
2.1.2	Componentes y Funcionamiento de una Impresora 3D FDM.....	28
2.1.3	Fundamentos de la Fabricación Aditiva en el aprendizaje.....	29
2.1.4	Componentes Técnicos de una Impresora 3D	30
2.1.5	Aplicaciones Académicas y Sociales	31
2.1.6	Accesibilidad y Adaptabilidad en la Educación	32
2.1.7	Contribución a la Innovación y Autonomía Tecnológica.....	34
2.2	Teorías Referentes al Diseño a Elaborar.....	35
2.3	Contextualización de las Teorías.....	37
2.3.1	Teoría de Fabricación Aditiva y Tecnología FDM	37
2.3.2	Accesibilidad y democratización tecnológica	38
2.3.3	Diseño centrado en el usuario y aprendizaje activo	40
2.3.4	Referencia a proyectos similares (teoría aplicada).....	41
2.3.5	Autonomía tecnológica y sostenibilidad institucional.....	42
 Capítulo III		
Marco Metodológico.....		43
3.1	Tipo de Investigación	44
3.1.1	Enfoque de la investigación.....	45
3.1.2	Finalidad de la Investigación.....	47
3.1.3	Dimensión Temporal	48
3.1.4	Marco de la Investigación.....	48
3.1.5	Naturaleza de la Investigación.....	49
3.1.6	Carácter de la investigación.....	49

3.2	Fuentes de Información	50
3.2.1	Fuentes primarias.....	50
3.2.2	Fuentes secundarias	51
3.2.3	Sujetos de información.....	52
3.3	Técnicas y Herramientas	54
3.3.1	Observación Directa	55
3.3.2	Entrevista Semiestructurada	55
3.3.3	Análisis Documental	56
3.3.4	Cuestionarios	56
3.4	Variables y Diseño de la Investigación	57
3.5	Implementación de la Investigación.....	61
 <i>Capítulo IV</i>		
	<i>Diagnóstico de la Situación Actual.....</i>	<i>66</i>
4.1	Descripción de la Situación Actual	67
4.2	Recolección y Validación de Datos.....	68
4.2.1	Recolección de datos	70
4.2.2	Instrumento para recolección de datos	71
4.3	Análisis de Brechas.....	71
 <i>Capítulo V</i>		
	<i>Diseño y Desarrollo del Proyecto</i>	<i>92</i>
5.1	Aspectos de Diseño	94
5.1.1	Propósito y principios de diseño.....	94

5.1.2	Arquitectura general del sistema	95
5.1.3	Señales de entrada/salida y conversión de datos	98
5.1.4	Interacción electrónica y vía software: flujo de datos y control.....	100
5.1.6	Componentes del prototipo e integración por subsistemas	105
5.1.7	Reutilización de componentes	106
5.1.8	Cálculos de dimensionamiento y parámetros de movimiento	107
5.2	Construcción del Prototipo	109
5.2.1	Enfoque de integración (hardware y software).....	111
5.2.2	Componentes principales integrados y componentes reutilizados	111
5.2.3	Integración y adaptación de una plataforma cartesiana reutilizada (base tipo Ender-3).....	114
5.3	Programas diseñados para el Arduino: verificación por subsistemas (sketches)	136
5.3.1	Rol del Arduino Mega 2560 y ubicación del software de autoría (sketches).....	137
5.3.2	Mérito del proyecto y desarrollo de ingeniería del estudiante.....	138
5.3.3	Programa de verificación de finales de carrera (Endstops Test)	140
5.3.4	Programa de prueba de motores por señales STEP/DIR (Stepper + Driver Test)	141
5.3.5	Programa de lectura analógica de termistores (Thermistor ADC Test)	141
5.3.6	Programa de prueba de pantalla LCD (LCD Test).....	142
5.4	Evidencia del prototipo ensamblado.....	143
5.4.1	Integración del conjunto electrónico (control y potencia).....	144
5.4.2	Operación de la interfaz HMI/LCD.....	144

5.4.3	Vista general de la impresora ensamblada	146
5.5	Depuración y resultados.....	147
5.5.1	Metodología de depuración	147
5.5.2	Incidencias detectadas y acciones.....	148
5.5.3	Resultados de validación (muestras representativas)	148
5.5.4	Resultados.....	150
5.6	Implementación	154
5.7	Análisis de costos	156
5.7.1	Comparación costo–beneficio	167
Capítulo VI.....		172
Conclusiones y Recomendaciones		172
6.1	Conclusiones.....	173
6.2	Recomendaciones.....	178
Bibliografía		181
Glosario.....		193
Anexo		198

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de causa-efecto del problema	18
Figura 2. Cronograma del proyecto “Impresora 3D accesible y adaptable” con el avance por etapa y marca temporal del 18-oct-2025.	64
Figura 3. Resultados de percepción sobre la implementación	74
Figura 4. Limitaciones actuales	79
Figura 5. Capacidad tecnológica de los laboratorios.....	80
Figura 6. Impacto que genera la falta de equipamiento.....	82
Figura 7. Necesidades académicas específicas.....	83
Figura 8. Beneficios educativos	84
Figura 9. Características técnicas que debe poseer una impresora 3D.....	85
Figura 10. Disponibilidad de recursos técnicos internos para el soporte y mantenimiento	85
Figura 11. Opinión sobre la propuesta institucional.....	88
Figura 12. Implementación y uso sostenible de esta tecnología	89
Figura 13. Comentarios adicionales	90
Figura 14. Diagrama de flujo del nuevo proceso de impresión 3D (FDM).	97
Figura 15. Placa de desarrollo Arduino Mega 2560 Rev3 (ATmega2560).....	116
Figura 16. Tarjeta RAMPS 1.4 (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) con módulos drivers de motores instalados	119
Figura 17. Esquema didáctico de interconexiones (Arduino Mega + RAMPS 1.4): fuente → RAMPS → motores, cama PCB, hotend, ventiladores, termistores, finales y HMI.	120
Figura 18. Driver de motor paso a paso A4988 (módulo controlador con microstepping)...	121
Figura 19. Motor paso a paso NEMA (stepper motor de alto torque).....	123

Figura 20. Hotend (cabezal de extrusión) tipo Ender 3 con bloque calefactor, disipador y tubo PTFE.....	124
Figura 21. Cama calefactada de aluminio (heated bed) para impresora 3D con cableado y aislamiento.....	126
Figura 22. Placa de vidrio templado para cama de impresión tipo Ender 3 (Creality)	126
Figura 23. Módulo endstop mecánico (fin de carrera) con microinterruptor para impresora 3D	127
Figura 24. Husillo trapezoidal T8 (tornillo de avance) con tuerca de bronce	128
Figura 25. Correa dentada GT2 (timing belt) para transmisión de movimiento en ejes X/Y	129
Figura 26. Pantalla LCD 128×64 con encoder (controlador gráfico) para RAMPS 1.4	130
Figura 27. Pantalla LCD – Menú de control	131
Figura 28. Pantalla de monitoreo de posición y temperatura del sistema	132
Figura 29. Interfaz del menú Control para ajuste de temperatura y ventilador en pantalla LCD	133
Figura 30. Diagramas de referencia de cableado y seguridad (señal/potencia, protecciones)	134
Figura 31. Diagrama de cableado del prototipo (placa, drivers, motores, termistores, cartuchos calefactores, ventiladores y endstops).....	135
Figura 32. Arduino Mega 2560 + RAMPS 1.4 (controladora para impresora 3D).....	144
Figura 33. Pantalla HMI en operación	144
Figura 34. Vista general del sistema de impresión 3D ensamblado.....	146
Figura 35. Maneki-neko impreso en 3D (prototipo en PLA)	151
Figura 36. Dado de prueba impreso en 3D (PLA blanco).....	153

Figura 37. Dado de prueba impreso en 3D..... 154

Figura 38. Factura de compra de los componentes 202

Índice de Tablas

Tabla 1. Comparación de tecnologías en proyectos	35
Tabla 2. Formato para definición de sujetos de información	53
Tabla 3. Definición de Variables según los Objetivos específicos.....	58
Tabla 4. Resultados e interpretación del diagnóstico de impresión 3D en la Universidad Hispanoamericana (N=15).....	73
Tabla 5. Resultados e interpretación de la entrevista semiestructurada sobre impresión 3D en la Universidad Hispanoamericana (N=15)	77
Tabla 6. Matriz de señales de entrada/salida del prototipo (I/O) y propósito funcional	98
Tabla 7. Comparación de tecnologías de control para FDM	101
Tabla 8. Componentes principales integrados (adquiridos / instalados)	111
Tabla 9. Componentes reutilizados de otra impresora (estructura y herrajes)	113
Tabla 10. Guía breve para ajuste de corriente del driver	122
Tabla 11. Inventario de sketches de verificación (autoría del proyecto) y dónde colocarlos en el documento	136
Tabla 12. Resultados de validación funcional y metrológica del prototipo FDM (muestras representativas).....	148
Tabla 13. Costos de partes para la implementación de la impresora 3D.....	158
Tabla 14. Comparación de impresoras 3D comerciales de nivel de entrada y su costo aproximado	164
Tabla 15. Tabla comparativa: costo y prestaciones técnicas	165
Tabla 16. Mapeo funcional de señales LCD/HMI hacia pines del Arduino Mega (RAMPS 1.4).....	224

Declaración Jurada

DECLARACIÓN JURADA

Yo Adrián Enrique Vega Moreira, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 2-07320186 egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercebido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Ingeniero Electrónico, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulada: Diseño e implementación de un prototipo de impresora 3D, en San José en el periodo 2025, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los Seis días del mes de Junio del año dos mil veinticinco.

Adrián Enrique Vega Moreira

Firma del estudiante

Cédula: 207320186

Carta del Tutor



CARTA DEL TUTOR

San José, 9 de diciembre del 2025

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante Adrián Enrique Vega Moreira, cédula de identidad número 2-0732-0186, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "*Diseño e implementación de un prototipo de impresora 3D, en el segundo semestre del 2025*", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	9
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	18
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	30
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	20
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	20
Total:		100	97

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

JORGE
VILLALOBOS
CASCANTE (FIRMA)

Firmado digitalmente por
JORGE VILLALOBOS
CASCANTE (FIRMA)
Fecha: 2025.12.09 18:53:20
-06'00'

Ing. Jorge Villalobos Cascante, MSc.
Cédula de identidad: 1-1185-0467
Carné colegio profesional: IEL-22656

Carta del Lector



CARTA DEL LECTOR

San José, 24 de Febrero del 2026

Señores
Universidad Hispanoamericana
Sede Llorente
Carrera de Ingeniería Electrónica

Estimados señores:

El estudiante Adrián Enrique Vega Moreira, cédula de identidad número 207320186, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **"Diseño e implementación de un prototipo de impresora 3D, en el segundo semestre del 2025"** el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eduardo Sanabria G.', is positioned above the typed name.

Ing. Eduardo Sanabria G, Mag.
Cédula de identidad: 108610714



**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, miércoles, 25 de febrero de 2026.

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Adrián Enrique Vega Moreira, con número de identificación 207320186, autor (a) del trabajo de graduación titulado **Diseño e implementación de un prototipo de impresora 3D, en el segundo semestre del 2025**, presentado y aprobado en el año 2026 como requisito para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica, SÍ / NO autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

Adrián Enrique Vega Moreira
207320186

Capítulo I

Problema del Proyecto

1.1 Justificación del proyecto

En la actualidad, el acceso a tecnologías de impresión 3D continúa siendo limitado en muchos entornos académicos debido a los altos costos de adquisición, mantenimiento y operación, así como a la escasa posibilidad de personalización que ofrecen los sistemas comerciales. Esta situación restringe la capacidad de las instituciones educativas para integrar tecnologías emergentes en sus procesos de enseñanza, limitando el aprendizaje práctico, la experimentación y el desarrollo de competencias tecnológicas en los estudiantes.

La Universidad Hispanoamericana (UH) no es ajena a esta realidad. A pesar del interés y potencial existente en diversas áreas del conocimiento, las limitaciones presupuestarias y técnicas impiden el uso efectivo de tecnologías de impresión 3D en los laboratorios y proyectos estudiantiles. Ante este panorama, surge la necesidad de atender esta brecha mediante el diseño e implementación de una impresora 3D funcional, accesible y adaptable a las condiciones y necesidades concretas del entorno UH.

La pertinencia del proyecto radica en su enfoque práctico y su impacto directo en la comunidad académica. Desarrollar una impresora 3D desde cero, utilizando recursos disponibles y ajustándose a un presupuesto razonable, permitirá no solo fomentar la autonomía tecnológica institucional, sino también fortalecer los procesos formativos e investigativos. Esta iniciativa aportará una herramienta versátil para el desarrollo de prototipos, trabajos de curso, proyectos de graduación y actividades de investigación aplicada, mejorando la calidad del aprendizaje y estimulando la creatividad y la innovación.

Asimismo, la posibilidad de personalizar el diseño y la funcionalidad del sistema responde a una necesidad real de adaptabilidad, ya que cada proyecto académico puede

requerir configuraciones distintas. Con ello, se contribuye al desarrollo de soluciones tecnológicas más abiertas, sostenibles y alineadas con los principios de aprendizaje activo y desarrollo de competencias profesionales.

En conclusión, este proyecto no solo representa una respuesta técnica a una necesidad institucional concreta, sino que también impulsa un cambio positivo en la forma en que se integran las tecnologías emergentes en el ámbito educativo, generando valor a corto y mediano plazo para la Universidad Hispanoamericana y su comunidad estudiantil.

1.2 Definición del Problema

El acceso limitado a tecnologías de impresión 3D en la UH constituye un obstáculo para el desarrollo académico, práctico y tecnológico del estudiantado. Este límite se explica por el alto costo de equipos comerciales y su baja flexibilidad de adaptación a contextos educativos.

Como consecuencia, los estudiantes enfrentan dificultades para aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos, desarrollar prototipos funcionales, o participar activamente en procesos de investigación aplicada e innovación tecnológica. Esta situación limita el fortalecimiento de competencias técnicas, reduce las oportunidades de aprendizaje experimental y frena el avance de proyectos con potencial académico o social.

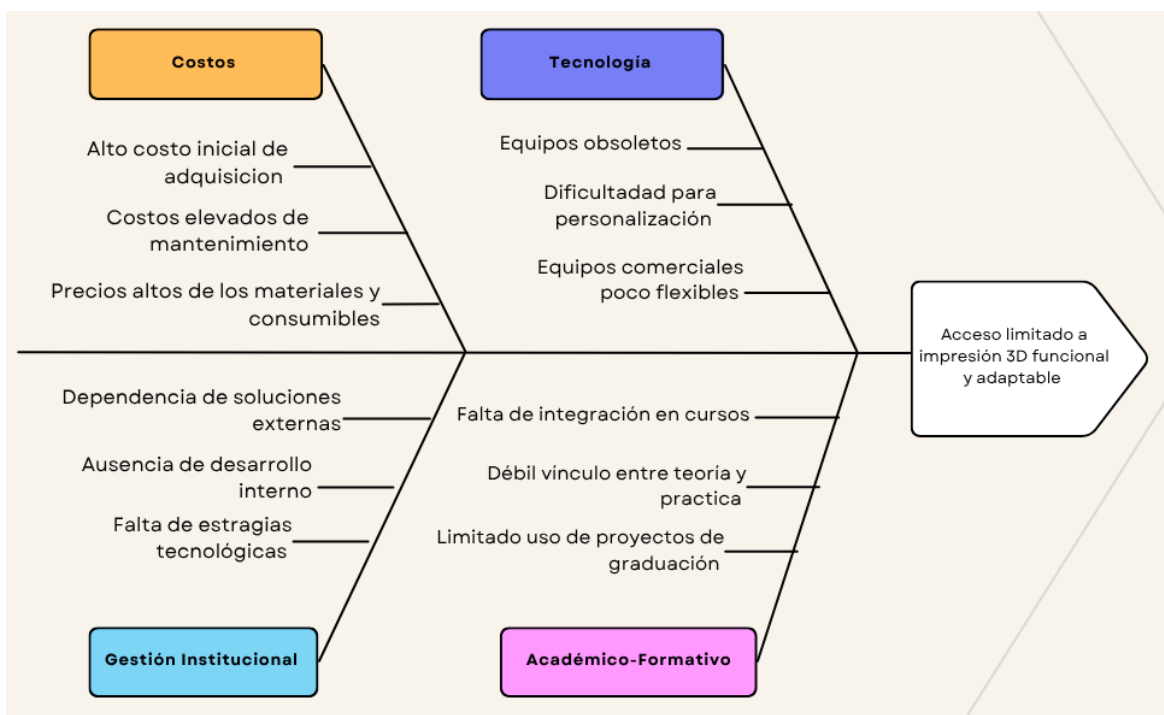
Además, la dependencia de soluciones comerciales impide que la universidad desarrolle una infraestructura tecnológica propia, sostenible y adaptable a su contexto, lo que agrava la brecha entre la teoría y la práctica en los procesos formativos. La carencia de una solución accesible y funcional de impresión 3D limita la capacidad institucional para integrar esta herramienta en diversas asignaturas, proyectos de curso, actividades de laboratorio y trabajos finales de graduación.

Por tanto, se identifica como problema central la falta de una herramienta de impresión 3D accesible, adaptable y desarrollada conforme a las necesidades académicas de la Universidad Hispanoamericana, lo cual obstaculiza el aprendizaje práctico, la innovación estudiantil y la incorporación efectiva de tecnologías emergentes en la formación profesional.

1.2.1 Diagrama de causa y efecto (Ishikawa)

A continuación, se presenta un diagrama de causa-efecto (Ishikawa) que permite visualizar de forma estructurada los factores que contribuyen al problema identificado: el acceso limitado a una herramienta de impresión 3D funcional, económica y adaptable en la Universidad Hispanoamericana. Este tipo de análisis facilita la identificación de las causas raíz agrupadas por categorías clave como recursos, tecnología, gestión institucional y aspectos académicos.

Figura 1.Diagrama de causa-efecto del problema



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa-efecto o espina de pescado, es una herramienta gráfica utilizada para identificar y analizar las causas fundamentales de un problema específico. En este proyecto, el diagrama permite visualizar claramente las causas principales y secundarias que contribuyen al problema de la limitada accesibilidad a tecnología de impresión 3D y que se agrupan en las siguientes cuatro grandes categorías:

- **Recursos económicos:** Incluye factores como el alto costo de adquisición y mantenimiento de los equipos, así como la falta de asignación presupuestaria específica para este tipo de tecnología. Esta limitación financiera impide la inversión en soluciones comerciales o en el desarrollo de un sistema propio.
- **Tecnología:** Se refiere a las características técnicas de las impresoras comerciales, que en su mayoría presentan dificultades para ser personalizadas y adaptadas a contextos educativos. Además, muchas de estas tecnologías se vuelven obsoletas rápidamente, dificultando su integración a largo plazo.
- **Gestión institucional:** Aquí se considera la falta de una estrategia institucional para el desarrollo tecnológico interno, la alta dependencia de soluciones externas y la escasa priorización de herramientas como la impresión 3D en los planes de mejora o inversión.
- **Aspectos académico-formativos:** Refleja cómo la falta de esta herramienta tecnológica afecta directamente los procesos de aprendizaje. La impresión 3D no está suficientemente integrada en los cursos ni en los trabajos de

graduación, lo cual debilita la conexión entre teoría y práctica y limita la formación en competencias aplicadas.

La falta de acceso a una impresora 3D en la UH no se debe a un único factor, sino a una combinación de limitaciones económicas, tecnológicas, organizativas y formativas. La ausencia de una solución desarrollada internamente, junto con el alto costo de equipos comerciales y su escasa adaptabilidad, genera una barrera que afecta directamente el aprendizaje práctico y la innovación estudiantil. Abordar estas causas de manera integral permitirá reducir la dependencia externa y fortalecer el entorno académico con herramientas propias, sostenibles y alineadas a las necesidades institucionales.

1.2.2 Planteamiento de la Pregunta de Investigación

A partir de la problemática descrita, surge la necesidad de formular una pregunta que guíe el desarrollo del presente trabajo investigativo. La interrogante principal es:

¿Cómo diseñar e implementar una impresora 3D funcional, accesible y adaptable, que permita mejorar los procesos de prototipado y desarrollo tecnológico en instituciones educativas, superando las limitaciones económicas y técnicas de los sistemas comerciales existentes?

Esta pregunta busca orientar el enfoque de la investigación hacia una solución concreta, sustentada en la aplicación de conocimientos de ingeniería electrónica, con impacto real en la educación, la investigación aplicada y la innovación tecnológica.

1.3 Objetivo General y Objetivos Específicos

A continuación, se presentan el objetivo general y los objetivos específicos que guían el desarrollo del proyecto, los cuales han sido formulados con base en el análisis de las necesidades institucionales y académicas identificadas en la Universidad Hispanoamericana.

Estos objetivos permiten establecer una hoja de ruta clara y estructurada para el diseño e implementación de un prototipo de impresora 3D accesible, funcional y adaptable. La propuesta busca no solo resolver una problemática tecnológica concreta, sino también fortalecer los procesos de enseñanza, aprendizaje e innovación, mediante el aprovechamiento de herramientas que promuevan la autonomía técnica y el desarrollo de competencias prácticas en el ámbito universitario.

1.3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo funcional de impresora 3D, desarrollado desde cero, que sea económicamente accesible para la Universidad Hispanoamericana, adaptable a diversas necesidades académicas, y que atienda las limitaciones actuales en cuanto al acceso, personalización y uso práctico de esta tecnología, con el fin de fortalecer los procesos de aprendizaje, prototipado e innovación tecnológica en el entorno universitario.

1.3.2 Objetivos específicos

A partir del objetivo general propuesto, se han definido una serie de objetivos específicos que permiten abordar de manera ordenada y detallada las distintas etapas del desarrollo del proyecto. Estos objetivos buscan garantizar la viabilidad técnica del diseño, la correcta implementación del prototipo, así como su evaluación y posible mejora en función de los resultados obtenidos en escenarios reales de aplicación.

1. Identificar las necesidades técnicas y académicas de la comunidad universitaria relacionadas con el uso de impresión 3D en el contexto de la Universidad Hispanoamericana.

2. Investigar y seleccionar los componentes electrónicos, mecánicos y estructurales necesarios para el desarrollo del prototipo de impresora 3D, priorizando la accesibilidad económica y la funcionalidad.
3. Diseñar el prototipo de la impresora 3D desde cero, considerando criterios de eficiencia, seguridad, modularidad y adaptabilidad a diferentes proyectos académicos.
4. Implementar el prototipo funcional de la impresora 3D, integrando los sistemas de control, alimentación, extrusión y movimiento necesarios para su operatividad.
5. Realizar pruebas experimentales para verificar el funcionamiento del prototipo, evaluando parámetros como precisión, calidad de impresión, estabilidad y compatibilidad con distintos materiales.
6. Analizar el costo-beneficio de la solución implementada en comparación con impresoras 3D comerciales, considerando aspectos como inversión inicial, mantenimiento, durabilidad y retorno educativo-tecnológico.
7. Integrar y validar una interfaz HMI basada en una pantalla LCD con encoder rotatorio y en el firmware open-source Marlin, optimizada para permitir al usuario controlar de forma intuitiva los principales parámetros de impresión, tales como la temperatura, la velocidad y los movimientos del sistema.
8. Elaborar una guía de uso o manual técnico del sistema, que incluya instrucciones de ensamblaje, operación, mantenimiento preventivo y resolución básica de errores.
9. Documentar el proceso de diseño e implementación del prototipo como base para futuras mejoras, réplicas o adaptaciones dentro del entorno institucional.
10. Diseñar, implementar y documentar un plan de mejora continua para el prototipo de impresora 3D, basado en el análisis de los resultados de las pruebas de funcionamiento

y en la retroalimentación de los usuarios, con el fin de optimizar la calidad de impresión, reducir fallos recurrentes y simplificar las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo.

1.4 Alcances y Limitaciones

Con el fin de delimitar claramente el desarrollo del presente proyecto, es fundamental establecer los alcances y limitaciones que enmarcan su ejecución. Esta sección define hasta dónde llegará el trabajo en términos técnicos, funcionales y académicos, así como los factores que podrían restringir su desarrollo o afectar sus resultados. Identificar estos elementos permite orientar adecuadamente los esfuerzos, gestionar expectativas y garantizar una planificación realista, alineada con los recursos disponibles, los tiempos establecidos y los objetivos propuestos. A continuación, se describen los alcances previstos y las principales limitaciones que podrían influir en el proceso de diseño e implementación del prototipo de impresora 3D.

1.4.1 Alcances

Los alcances del proyecto son:

El presente proyecto contempla como alcance principal el diseño e implementación de un prototipo funcional de impresora 3D que sea accesible económicamente, adaptable a diversas necesidades académicas y técnicamente viable dentro del contexto institucional de la Universidad Hispanoamericana. Este desarrollo parte desde cero, lo que implica la identificación de requerimientos, selección de componentes, integración de sistemas, validación experimental y documentación técnica del proceso.

Dentro de los alcances específicos se incluye la investigación y análisis de diversas tecnologías de impresión 3D, con énfasis en el modelado por deposición fundida (FDM),

valorando sus ventajas, desventajas y posibilidades de adaptación a entornos educativos. Asimismo, se proyecta la construcción de una estructura física robusta, la configuración electrónica mediante microcontroladores compatibles, y la incorporación de sensores esenciales como termistores y finales de carrera para garantizar un funcionamiento seguro y estable.

El proyecto también contempla la elaboración de una interfaz de usuario sencilla e intuitiva, adecuada para estudiantes y personal académico con distintos niveles de experiencia técnica. Se desarrollará un manual técnico completo que facilite el ensamblaje, operación, mantenimiento básico y resolución de fallos comunes, promoviendo así el uso autónomo del sistema.

Finalmente, se busca fomentar la incorporación activa de esta herramienta en asignaturas, proyectos estudiantiles, trabajos de graduación y actividades de investigación aplicada, brindando un recurso didáctico valioso que contribuya al fortalecimiento de competencias tecnológicas, el aprendizaje práctico y la innovación institucional.

1.4.2 Limitaciones

Aunque el proyecto tiene como objetivo brindar una solución práctica, funcional y adaptable a las necesidades de la Universidad Hispanoamericana, también enfrenta una serie de limitaciones que deben considerarse a lo largo de su desarrollo.

Una de las principales limitaciones es el presupuesto disponible, el cual es restringido y condiciona la selección de componentes electrónicos, mecánicos y estructurales. Esto implica priorizar la adquisición de materiales de bajo costo y fácil acceso en el mercado local,

lo que podría influir en aspectos como la durabilidad, precisión o capacidad de expansión del prototipo.

Asimismo, el proyecto se encuentra limitado por el tiempo de ejecución, ya que debe ser desarrollado dentro de un periodo académico determinado. Esta condición restringe la posibilidad de implementar mejoras avanzadas o realizar múltiples iteraciones del diseño que permitan una optimización progresiva del sistema.

Otra limitación relevante está relacionada con el alcance de las pruebas y validaciones funcionales, las cuales estarán enfocadas en escenarios académicos controlados. Esto significa que no se podrá comprobar el desempeño del prototipo en condiciones industriales o de uso intensivo, lo cual deja abierta la necesidad de estudios futuros para ampliar su campo de aplicación.

Por último, es importante señalar que el prototipo se enfocará en funcionalidades básicas de impresión 3D. Características más avanzadas, como conectividad inalámbrica, sistemas multiextrusión, detección automática de nivelación o compatibilidad con materiales especiales, quedan fuera del alcance en esta fase inicial, aunque se contemplan como posibilidades de mejora en futuras versiones.

Capítulo II
Marco Teórico

El marco teórico constituye el sustento conceptual y técnico que orienta el desarrollo del proyecto "Diseño e implementación de una impresora 3D accesible y adaptable para uso personal y académico". A través de este apartado, se integran los conceptos clave, las tecnologías fundamentales, las aplicaciones relacionadas y los antecedentes relevantes que permiten contextualizar el problema, justificar su pertinencia y proyectar la solución propuesta. En concordancia con Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, (2009), Creswell, *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches*, (2013) y Perry, (1998), se ha construido este capítulo siguiendo un método de mapeo conceptual, que parte de la identificación de ejes temáticos relacionados con la impresión 3D y su implementación académica, permitiendo así establecer una narrativa coherente, técnica y progresiva.

2.1.1 Tecnología de Impresión 3D: Concepto y Evolución

La impresión 3D, también denominada fabricación aditiva, es una técnica de manufactura que permite la creación de objetos físicos tridimensionales a partir de modelos digitales, generando cada pieza mediante la deposición sucesiva de material capa por capa. Su origen se remonta a la estereolitografía (SLA) desarrollada por Charles Hull en la década de 1980, y desde entonces ha incorporado tecnologías como FDM (Modelado por Deposición Fundida), SLS (Sinterización Selectiva por Láser) y DLP (Procesamiento Digital de Luz) (Berman, 2012; Gibson, Rosen & Stucker, 2015). Este surgimiento ha revolucionado industrias tan diversas como la medicina, la arquitectura, la ingeniería y, en particular, el ámbito educativo, al ofrecer ventajas como prototipado rápido, personalización, reducción de tiempos y costos en producción de series cortas (Gibson et al., 2015). En este sentido, se

observan proyectos recientes que demuestran cómo la impresión 3D favorece la formación en salud, ingeniería y ciencias básicas (Universidad de Nebraska Omaha, 2025; Autodesk, 2024).

2.1.2 Componentes y Funcionamiento de una Impresora 3D FDM

Dentro de las tecnologías de impresión 3D más utilizadas en contextos académicos destaca la técnica FDM (Modelado por Deposición Fundida), también conocida como FFF (Fabricación con Filamento Fundido), debido a su simplicidad operativa, bajo costo y accesibilidad técnica. Estos aspectos hacen que esta tecnología sea especialmente atractiva para instituciones educativas que buscan integrar herramientas prácticas y económicas en sus laboratorios y aulas.

Una impresora 3D basada en tecnología FDM consta principalmente de varios componentes clave que aseguran su correcto funcionamiento. En primer lugar, cuenta con un extrusor y un hotend, encargados de fundir y depositar secuencialmente el filamento termoplástico, típicamente materiales como PLA o ABS, en capas sucesivas. Asimismo, dispone de una cama calefactable que facilita la adhesión inicial del material a la superficie de impresión, asegurando una base estable para el proceso de fabricación. Otro elemento fundamental son los motores paso a paso, que permiten controlar con precisión los movimientos del cabezal extrusor en los ejes X, Y y Z, garantizando una impresión dimensionalmente precisa (Chua & Leong, 2017; Bobo García, 2013).

Desde el punto de vista electrónico, una impresora FDM integra una tarjeta controladora—generalmente basada en microcontroladores como Arduino con RAMPS 1.4 o placas más avanzadas tipo SKR—que se encarga de interpretar y ejecutar las instrucciones contenidas en el archivo G-code. Adicionalmente, cuenta con sensores térmicos para monitorear y controlar la temperatura del hotend y la cama caliente, además de sensores de fin

de carrera (endstops), esenciales para establecer límites físicos en los movimientos de la impresora. Algunos modelos avanzados pueden incluir sistemas opcionales de autonivelación, los cuales mejoran significativamente la calidad y repetibilidad de las impresiones al reducir errores derivados de irregularidades en la superficie de impresión (Castañeda Becerra, 2022).

Finalmente, la estructura mecánica de la impresora generalmente compuesta por una base rígida y guías lineales acompañadas por correas es crucial para garantizar la estabilidad, precisión y robustez del sistema. La adecuada integración y coordinación de todos estos componentes es determinante para lograr altos estándares en términos de calidad dimensional, velocidad de impresión y repetibilidad, aspectos esenciales según diversos estudios recientes sobre el tema (Funes González et al., 2017; Chua & Leong, 2017).

2.1.3 Fundamentos de la Fabricación Aditiva en el aprendizaje

La fabricación aditiva, comúnmente conocida como impresión 3D, es un proceso mediante el cual se construyen objetos tridimensionales a partir de modelos digitales mediante la deposición secuencial de capas de material. El principio esencial de esta técnica radica en la construcción por capas desde un modelo generado por computadora (CAD), permitiendo producir geometrías complejas con un bajo desperdicio de material y optimizando significativamente el proceso productivo (Gibson, Rosen, & Stucker, 2015; Creswell, 2013). Gracias a su flexibilidad, economía y adaptabilidad, esta tecnología ha transformado radicalmente los métodos convencionales de creación de prototipos, fabricación de piezas funcionales y producción de herramientas personalizadas, facilitando su adopción en diversos campos como la industria, la medicina y especialmente en el ámbito educativo.

En este sentido, el presente proyecto se enfoca particularmente en la tecnología FDM (Modelado por Deposición Fundida), reconocida como una de las metodologías más populares

debido a su simplicidad operativa, accesibilidad técnica y económica, lo cual resulta especialmente atractivo para entornos educativos. El proceso FDM consiste en utilizar filamentos termoplásticos comunes, como PLA o ABS, que se funden mediante una boquilla caliente y se depositan capa por capa sobre una superficie calefaccionada, facilitando la creación eficiente y precisa de modelos físicos (Chua & Leong, 2017).

La adopción generalizada de la fabricación aditiva en contextos educativos ha traído consigo notables beneficios académicos, documentados en diversas investigaciones. Estos beneficios abarcan desde el desarrollo de competencias técnicas esenciales como la creatividad, el pensamiento crítico, la visualización espacial y el pensamiento lógico, hasta la adquisición de habilidades prácticas relacionadas con el prototipado y el diseño funcional (Blikstein, 2013; Dassault Systèmes, 2022; Tejera et al., 2025). Particularmente en disciplinas STEM (ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas), la impresión 3D ha demostrado un aumento significativo en la participación y compromiso de los estudiantes, fortaleciendo la comprensión práctica y teórica en áreas como anatomía, geometría y desarrollo de prototipos avanzados (Autodesk, 2024; Fernández Cortés, 2024).

2.1.4 Componentes Técnicos de una Impresora 3D

El diseño de una impresora 3D requiere una integración armónica entre componentes mecánicos, electrónicos y de control. En el plano mecánico, se requiere una estructura rígida y precisa, compuesta por guías lineales, husillos, correas, ejes y una base estable que soporte el sistema de movimiento. Este sistema permite el desplazamiento del cabezal extrusor en los ejes X, Y y Z (Funes Gonzalez, Vásquez Cibrián, & Torres Martinez, 2017).

Desde la perspectiva electrónica, se emplean placas controladoras (como Arduino Mega con RAMPS 1.4 o placas 32-bit tipo SKR), drivers para motores paso a paso, fuentes de

alimentación conmutadas, sensores térmicos y elementos de protección. En este sentido, el control de temperatura es fundamental, para lo cual se utilizan termistores de 100K, tanto en el extrusor como en la cama caliente (Bobo García , 2013).

Además, se incorporan sensores de fin de carrera (endstops) para detectar los límites físicos de desplazamiento y, en versiones más modernas, sensores de autonivelación para garantizar una correcta adherencia de la primera capa, reduciendo fallos por superficies irregulares (Castañeda Becerra, 2022).

2.1.5 Aplicaciones Académicas y Sociales

La impresión 3D se ha consolidado como una herramienta pedagógica fundamental dentro del ámbito educativo, gracias a su versatilidad y capacidad para desarrollar múltiples competencias en los estudiantes. Su inclusión en instituciones académicas permite reforzar habilidades esenciales como el diseño tridimensional, el pensamiento lógico, la creación de prototipos funcionales y la resolución efectiva de problemas. Esta tecnología ha demostrado ser particularmente útil en laboratorios universitarios vinculados a disciplinas como la ingeniería, arquitectura, medicina y diseño industrial, promoviendo no solo el aprendizaje activo, sino también la innovación y creatividad de los estudiantes (Blikstein, 2013).

En el ámbito médico, la impresión 3D ha adquirido una especial relevancia debido a sus múltiples aplicaciones prácticas. Ejemplos destacados incluyen la fabricación de modelos anatómicos detallados para la enseñanza, prótesis personalizadas y herramientas quirúrgicas adaptadas específicamente a las necesidades de cada paciente. Recientes iniciativas académicas y sociales han impulsado aún más el alcance de esta tecnología, desarrollando dispositivos médicos personalizados destinados a poblaciones vulnerables, permitiendo soluciones de salud más accesibles y efectivas (Universidad de Nebraska Omaha, 2025;

Materialise/PHIDIAS, 2025). Adicionalmente, proyectos innovadores como los impulsados por la Monash University (2024) y Holloway et al. (2025) han demostrado cómo la impresión 3D facilita la creación de modelos educativos táctiles destinados a personas con discapacidad visual, generando entornos más inclusivos y accesibles en la educación.

Asimismo, la impresión 3D ha trascendido hacia iniciativas sociales y culturales que enriquecen significativamente la experiencia educativa. Por ejemplo, proyectos recientes como "Artccesible Advanced" evidencian cómo estudiantes con necesidades educativas especiales pueden desarrollar habilidades técnicas y creativas al fabricar maquetas táctiles para museos, fortaleciendo así su autoestima e inclusión social (El País, 2025). De esta forma, la impresión 3D no solo optimiza los costos y reduce los tiempos de espera en la creación de prototipos industriales, moldes y piezas de reposición, sino que además actúa como catalizador de un aprendizaje integral que impacta positivamente en diversos sectores de la sociedad.

En síntesis, la tecnología de impresión 3D constituye una herramienta de amplio impacto pedagógico, social e industrial, capaz de fortalecer competencias académicas clave, facilitar el acceso a soluciones médicas personalizadas y fomentar la inclusión social mediante proyectos educativos innovadores. Todo esto posiciona a la impresión 3D como un recurso estratégico que contribuye significativamente al desarrollo académico y social de las instituciones educativas modernas.

2.1.6 Accesibilidad y Adaptabilidad en la Educación

Uno de los pilares fundamentales del proyecto es brindar una solución tecnológica accesible para instituciones educativas con recursos económicos limitados. Esto se logra mediante el uso de componentes de código abierto, materiales reutilizables y estructuras

modulares, lo que permite democratizar el acceso a la fabricación digital y proporcionar una alternativa robusta y económica. En este sentido, la fabricación aditiva representa una opción altamente efectiva para fomentar la equidad educativa y técnica, especialmente en contextos institucionales donde la limitación presupuestaria podría ser un impedimento para acceder a tecnología avanzada.

El diseño propuesto destaca especialmente por su adaptabilidad, al permitir modificaciones posteriores según las necesidades específicas de cada institución. Entre estas adaptaciones posibles se encuentran la integración de sistemas de multiextrusión, la conectividad remota a través de plataformas digitales y la incorporación de sensores adicionales para mejorar la precisión y calidad del proceso de impresión. Esta flexibilidad no solo asegura que la impresora pueda ajustarse a diversos escenarios académicos y de investigación, sino que también convierte al dispositivo en una plataforma experimental ideal para fomentar proyectos innovadores y aplicaciones educativas en diversas áreas del conocimiento.

La adopción de tecnologías open-source, combinada con la utilización de materiales reutilizables y estructuras modulares, impulsa una democratización efectiva de la fabricación digital, como se evidencia en iniciativas globales exitosas. Ejemplos claros son plataformas como Polar Cloud, que permiten la gestión colaborativa de impresoras 3D a escala mundial, congregando a cientos de miles de usuarios distribuidos en más de 160 países (Hubner, 2018).

De igual forma, el proyecto E-NABLE representa un caso paradigmático al generar prótesis personalizadas mediante el uso de impresoras 3D de código abierto producidas localmente, lo que pone de manifiesto cómo la fabricación aditiva puede favorecer significativamente la autonomía tecnológica, la equidad educativa y la atención en salud

(Wikipedia E-NABLE, 2023). Estas iniciativas resaltan cómo la accesibilidad técnica y económica promovida por la impresión 3D fomenta la innovación institucional, permitiendo que estudiantes, docentes e instituciones se conviertan en generadores activos de soluciones tecnológicas, capaces de resolver problemas reales mediante recursos propios.

2.1.7 Contribución a la Innovación y Autonomía Tecnológica

La implementación de soluciones tecnológicas desarrolladas internamente en instituciones educativas fomenta significativamente la cultura de innovación y fortalece la autonomía tecnológica institucional. En particular, la construcción de una impresora 3D propia, basada en documentación abierta, componentes modulares y tecnologías accesibles, permite a la universidad disminuir considerablemente su dependencia de proveedores externos. Al mismo tiempo, este tipo de iniciativas estimulan prácticas como el pensamiento de diseño (design thinking), en las que los estudiantes aprenden a identificar problemas reales y abordarlos con soluciones creativas, prácticas y funcionales, desarrollando así competencias esenciales en contextos educativos modernos (Brown, 2009).

Desde la perspectiva institucional, la fabricación interna de soluciones tecnológicas como impresoras 3D no solo permite optimizar los recursos disponibles, sino que también consolida el perfil tecnológico de la universidad, posicionándola como un actor relevante en la generación de conocimiento aplicado. Esta autonomía tecnológica se traduce en una capacidad más eficiente para adaptar y personalizar la tecnología según las necesidades específicas de la institución, lo que asegura una mejor alineación entre las soluciones implementadas y las demandas educativas reales (Funes Gonzalez , Vásquez Cibrián , & Torres Martinez, 2017).

El impacto positivo de estas iniciativas se puede observar en casos prácticos recientes, como el programa de fabricación aditiva promovido por COGITISE (2025) en Sevilla, que

logró equipar con impresoras 3D a aproximadamente 3 500 estudiantes, demostrando la escalabilidad y eficacia de este modelo cuando se integra con áreas STEM y entornos académicos diversos (COGITISE, 2025). Asimismo, el surgimiento y evolución de impresoras FDM de bajo costo, como la Prusa i3 y sus variantes derivadas del proyecto RepRap, ejemplifican cómo estas tecnologías accesibles y colaborativas permiten a las comunidades académicas globales replicar, adaptar y mejorar continuamente los diseños, estimulando así un ecosistema activo de innovación abierta (Wikipedia Prusa i3, 2025).

2.2 Teorías Referentes al Diseño a Elaborar

En el desarrollo del diseño e implementación de una impresora 3D funcional y accesible, resulta esencial analizar investigaciones previas que hayan abordado soluciones similares. Este análisis comparativo permite identificar las tecnologías utilizadas, los enfoques técnicos, los tipos de sensores, las herramientas de software y las aplicaciones más relevantes. A continuación, se presenta una tabla que compara tres propuestas de distintos autores, todas basadas en la tecnología FDM (Modelado por Deposición Fundida), con el fin de evidenciar similitudes y diferencias que fortalecen la fundamentación técnica del presente proyecto.

Tabla 1. Comparación de tecnologías en proyectos

Autor	Rafael Bobo García	Franco Castañeda Becerra	Luis Fernando Gualacata Gualacata
Tecnología usada	FDM (Modelado por deposición fundida)	FDM (enfocado)	FDM (Modelado por deposición fundida)

Enfoque técnico	Alto nivel técnico, diseño mecánico, componentes electrónicos	Teórico y divulgativo	Práctico y aplicado, orientado a la implementación funcional
Sensores utilizados	Fin de carrera, sensores de temperatura, encoders propuestos	No se especifican sensores	Termistor 100K, fin de carrera (Endstops)
Mención de software	CAD, STL, configuración electrónica	STL, CAD, formatos 3D	Firmware Marlin (implicado en tipo Prusa), software de impresión
Aplicaciones destacadas	Multiextrusión, prototipado simultáneo	Educación, medicina, industria, arte	Educación técnica, prototipado personal

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

Del análisis comparativo realizado, se observa que, aunque los tres proyectos emplean la tecnología FDM, existen diferencias significativas en cuanto a su enfoque y nivel de aplicación. Mientras algunos se centran en aspectos teóricos y divulgativos, otros destacan por su orientación práctica y por un desarrollo técnico más detallado. Las variaciones en los sensores utilizados y el software implementado reflejan la versatilidad de esta tecnología y permiten una adaptación flexible según las necesidades de cada entorno. Estos antecedentes proporcionan una base sólida para la toma de decisiones técnicas en el diseño del prototipo,

integrando buenas prácticas y elementos funcionales previamente validados por otros investigadores.

2.3 Contextualización de las Teorías

El desarrollo del presente proyecto se fundamenta en diversas teorías y estudios previos sobre tecnologías de impresión 3D, fabricación aditiva, accesibilidad tecnológica y autonomía institucional, las cuales permiten entender y justificar las decisiones técnicas adoptadas. A continuación, se contextualizan dichas teorías con relación al objetivo de diseñar e implementar una impresora 3D accesible y adaptable en la Universidad Hispanoamericana.

2.3.1 Teoría de Fabricación Aditiva y Tecnología FDM

La fabricación aditiva, también conocida como impresión 3D, ha emergido como una de las innovaciones más disruptivas en los procesos de manufactura del siglo XXI. Según Gibson, Rosen y Stucker (2015), esta tecnología permite fabricar objetos tridimensionales mediante la adición sucesiva de capas de material a partir de modelos digitales, rompiendo así con los esquemas sustractivos tradicionales. Esta transformación ha permitido el desarrollo de piezas funcionales complejas con una notable reducción en el desperdicio de material y los costos de producción.

Dentro de este marco, la tecnología FDM (Fused Deposition Modeling) se ha consolidado como una de las técnicas más difundidas, particularmente en contextos educativos. Este método utiliza filamentos termoplásticos, como PLA o ABS, que se funden y extruyen capa por capa a través de una boquilla caliente. Su simplicidad operativa, disponibilidad de materiales y bajo costo la convierten en una opción ideal para entornos de

enseñanza, donde la accesibilidad y la facilidad de mantenimiento son criterios clave (Chua & Leong, 2017). Además, estudios recientes destacan que la FDM ha favorecido la rápida adopción de la impresión 3D en espacios académicos, potenciando el prototipado rápido, el diseño funcional y la exploración creativa en múltiples disciplinas técnicas y científicas.

En el presente proyecto, la aplicación de esta teoría se traduce en la elección de la FDM como base tecnológica para el diseño de una impresora 3D accesible, lo cual responde directamente a las necesidades de instituciones educativas con limitaciones presupuestarias, como la Universidad Hispanoamericana.

2.3.2 Accesibilidad y democratización tecnológica

El acceso equitativo a tecnologías emergentes en el ámbito educativo continúa representando un desafío significativo, especialmente en instituciones con recursos limitados. En este contexto, la democratización tecnológica se vuelve una estrategia clave para garantizar que todos los estudiantes tengan las mismas oportunidades de desarrollar competencias digitales avanzadas. Blikstein (2013) sostiene que la incorporación de tecnologías digitales accesibles en los procesos formativos no solo promueve la equidad en el aprendizaje, sino que también estimula la creatividad, el pensamiento crítico y la participación activa de los estudiantes, al permitirles ser protagonistas del conocimiento y no simples consumidores.

Esta visión se materializa en el presente proyecto, cuyo enfoque central es el diseño de una impresora 3D económica, funcional y adaptable a diversos contextos académicos. A diferencia de los sistemas comerciales cerrados, la propuesta se basa en el uso de componentes de código abierto (open source), estructuras modulares y materiales locales o reutilizables.

Este enfoque no solo permite una considerable reducción de costos en cuanto a implementación y mantenimiento, sino que también empodera a los usuarios estudiantes y docentes al brindarles la posibilidad de ensamblar, modificar, replicar y mejorar el sistema conforme a sus necesidades curriculares o de investigación aplicada.

La elección de estas tecnologías accesibles permite, además, fomentar una cultura de innovación abierta y colaborativa. Plataformas como Polar Cloud han demostrado que la impresión 3D remota puede gestionarse a escala global de forma eficiente, permitiendo que instituciones educativas y comunidades técnicas compartan diseños y experiencias en tiempo real. Por otro lado, iniciativas como e-NABLE han evidenciado cómo las tecnologías de código abierto aplicadas a la fabricación aditiva pueden generar soluciones de alto impacto social, como prótesis personalizadas de bajo costo fabricadas localmente por redes voluntarias (Polar3D, 2025; Wikipedia e-NABLE, 2023).

Desde una perspectiva institucional, esta accesibilidad técnica promueve una transformación profunda del rol del estudiante, quien deja de ser un receptor pasivo de contenidos para convertirse en un actor activo del proceso de innovación. La posibilidad de manipular directamente las tecnologías que emplea le permite desarrollar habilidades aplicadas en áreas como electrónica, mecánica, diseño tridimensional y programación, fortaleciendo así su autonomía, iniciativa y capacidad de resolución de problemas complejos.

En definitiva, la democratización de la impresión 3D en entornos educativos no solo facilita el acceso a herramientas tecnológicas de vanguardia, sino que además impulsa procesos formativos más inclusivos, experimentales y centrados en el aprendizaje activo.

2.3.3 Diseño centrado en el usuario y aprendizaje activo

El enfoque de diseño centrado en el usuario, fundamentado en la metodología de design thinking, representa una estrategia clave para el desarrollo de soluciones tecnológicas adaptadas a necesidades reales. Esta metodología, ampliamente difundida por autores como Brown (2009), se basa en principios de empatía, ideación, prototipado y experimentación, permitiendo que los usuarios no sean simples receptores de tecnología, sino co-creadores activos de las herramientas que utilizan. Este enfoque transforma la relación tradicional entre el usuario y la tecnología, generando un vínculo más profundo entre la funcionalidad de un producto y el contexto específico en el que se aplica.

En el marco del presente proyecto, esta visión se traduce en un reconocimiento explícito del estudiante como el usuario central. Desde la etapa inicial de diagnóstico, se identificaron diversas limitaciones técnicas y académicas asociadas al acceso a tecnologías de prototipado en la Universidad Hispanoamericana. Esta información fue fundamental para orientar el diseño de una impresora 3D accesible, económica y funcional, que no solo cumpla la función de imprimir objetos físicos, sino que también se configure como una herramienta de aprendizaje activo y experimental.

La impresora propuesta, concebida bajo esta lógica participativa, permitirá a los estudiantes interactuar directamente con sus componentes tanto físicos como digitales. El acceso al hardware y al software de la impresora abre la posibilidad de modificar su estructura, actualizar su programación o implementar mejoras de acuerdo con necesidades emergentes. Esta posibilidad de intervención fomenta competencias en múltiples disciplinas:

desde la programación y la electrónica hasta el diseño mecánico, la manufactura digital y la resolución de problemas complejos.

Además, al brindar un entorno de aprendizaje basado en la experimentación, se promueve un modelo educativo más dinámico, en el cual el conocimiento no se transmite de manera unidireccional, sino que se construye a través de la acción, la reflexión y la iteración constante. La impresora 3D, en este contexto, deja de ser un simple instrumento tecnológico para convertirse en una plataforma didáctica integral, adaptable a diferentes áreas del conocimiento y niveles formativos.

De esta manera, el proyecto no solo se alinea con los principios del design thinking, sino que también refuerza una pedagogía centrada en el estudiante, capaz de articular teoría y práctica, fomentar la autonomía y estimular la creatividad tecnológica. La implementación de este enfoque constituye una apuesta por la innovación educativa, donde las soluciones surgen desde las propias necesidades del entorno académico y se proyectan como herramientas sostenibles, replicables y escalables dentro de la institución.

2.3.4 Referencia a proyectos similares (teoría aplicada)

La comparación con los proyectos de (Bobo García , 2013), (Castañeda Becerra, 2022) y (Gualacata Gualacata, s.f.) evidencia diferentes enfoques técnicos y niveles de implementación. El primero destaca por su alto grado de detalle en el diseño mecánico y electrónico, mientras que el segundo se centra en un enfoque teórico-divulgativo. El tercero, en cambio, se orienta a la implementación práctica de una impresora tipo Prusa i3 de bajo costo.

Estas referencias teóricas permiten extraer buenas prácticas como el uso de sensores de temperatura (termistores 100K), sensores de fin de carrera (endstops) y software libre (Marlin), los cuales serán considerados en el diseño del presente prototipo. La adaptación de estas soluciones al contexto institucional y presupuestario de la UH es fundamental para lograr una herramienta útil, funcional y sostenible.

2.3.5 Autonomía tecnológica y sostenibilidad institucional

Finalmente, la teoría de autonomía tecnológica institucional promueve que las universidades desarrollen sus propias herramientas y sistemas, reduciendo su dependencia de proveedores externos y fortaleciendo su capacidad de innovación (Funes Gonzalez , Vásquez Cibrián , & Torres Martinez, 2017). El proyecto se alinea con esta visión al construir una impresora 3D desde cero, con componentes modulares y documentación abierta, que podrá ser mantenida, mejorada o replicada internamente por generaciones futuras de estudiantes.

Capítulo III
Marco Metodológico

En este capítulo se presenta un análisis integral de las dimensiones metodológicas que sustentan el diseño e implementación de una impresora 3D accesible y adaptable. A través de la identificación del tipo, finalidad, dimensión temporal, marco, naturaleza y carácter del proyecto, se establece un marco de referencia sólido que justifica las decisiones adoptadas a lo largo del proceso investigativo. Esta caracterización metodológica permite comprender no solo cómo se llevó a cabo el proyecto, sino también por qué se eligieron ciertas estrategias y enfoques frente a las necesidades reales del entorno académico. El objetivo es ofrecer una visión clara y coherente de la estructura metodológica que respalda la propuesta, evidenciando su pertinencia, aplicabilidad y contribución al fortalecimiento de la educación técnica universitaria.

En los siguientes apartados se desarrollan las teorías sobre:

- ❖ Enfoque de la investigación
- ❖ Finalidad de la investigación
- ❖ Dimensión temporal
- ❖ Marco de la investigación
- ❖ Naturaleza de la investigación
- ❖ Carácter del proyecto

3.1 Tipo de Investigación

A partir de la información recopilada y del contexto particular en el que se desarrolla el presente proyecto, es posible establecer una clasificación coherente y fundamentada que responda a las distintas dimensiones del tipo y enfoque de investigación. Esta clasificación permite situar el trabajo dentro de los marcos conceptuales y metodológicos apropiados, ofreciendo claridad sobre su propósito, estructura y alcance (Hernández Sampieri, 2014). A

continuación, se desarrollan de manera integrada los principales aspectos que definen el enfoque, la finalidad, la dimensión temporal, el marco, la naturaleza y el carácter del proyecto.

En primer lugar, respecto al tipo de investigación, se identifican varios elementos clave que permiten situar este trabajo como una investigación aplicada, analítica y de campo. Es aplicada porque parte de conocimientos ya existentes en el ámbito de la ingeniería electrónica y la fabricación aditiva, con el objetivo claro de transferir estos conocimientos a una solución práctica: una impresora 3D funcional, económica y adaptable a las condiciones de la Universidad Hispanoamericana. No se busca únicamente expandir el conocimiento teórico, sino resolver una problemática concreta que afecta el acceso a herramientas tecnológicas en el ámbito educativo (Tamayo y Tamayo , 2005). Asimismo, se trata de una investigación de tipo analítico, dado que se establece una comparación detallada entre proyectos similares desarrollados por otros autores, contrastando variables como el tipo de tecnología empleada, los sensores integrados y los enfoques técnicos. Esta comparación no solo permite extraer buenas prácticas, sino también fundamentar las decisiones técnicas adoptadas en el diseño del presente prototipo (Creswell, 2014). Finalmente, se enmarca como una investigación de campo, ya que el diagnóstico del problema, la implementación del sistema y la validación del prototipo se realizan directamente en el contexto institucional, en contacto con los usuarios reales, es decir, estudiantes y docentes de la universidad (Bisquerra Alzina, 2004).

3.1.1 Enfoque de la investigación

El presente proyecto se enmarca en un enfoque metodológico mixto, integrando tanto elementos del enfoque cuantitativo como cualitativo. Esta decisión responde a la necesidad de abordar de forma integral una problemática concreta: la limitada accesibilidad a tecnologías

de impresión 3D en entornos educativos, particularmente en la Universidad Hispanoamericana. Desde el enfoque cuantitativo, se pretende medir, evaluar y analizar de forma objetiva diversas variables relacionadas con el diseño e implementación de una impresora 3D accesible y funcional. Entre estas variables se incluyen la eficiencia del sistema, el costo de los materiales, la precisión de las piezas impresas y la estabilidad del equipo. La recolección de datos cuantificables permite validar el funcionamiento del prototipo y compararlo con modelos comerciales, ofreciendo un respaldo empírico a las decisiones técnicas adoptadas. Este enfoque se fundamenta en la visión positivista del conocimiento, en la que la objetividad y la medición de fenómenos son pilares esenciales para alcanzar resultados válidos y replicables (Hernández Sampieri, 2014).

A su vez, el proyecto incorpora un enfoque cualitativo que permite comprender las necesidades específicas del contexto institucional, así como las percepciones y experiencias de los usuarios potenciales del sistema: estudiantes, docentes y personal técnico de la universidad. A través de entrevistas semiestructuradas, observaciones directas y análisis documental, se recopila información que enriquece el proceso de diseño, permitiendo adaptar la propuesta a las condiciones reales del entorno educativo. Este componente cualitativo aporta una perspectiva holística del problema, ya que no se limita a medir resultados, sino que busca interpretar el sentido que los usuarios otorgan al uso de la tecnología en sus procesos de aprendizaje. Tal aproximación se alinea con los postulados de Creswell (2014), quien sostiene que el enfoque cualitativo permite explorar fenómenos en profundidad, valorando los significados, contextos y experiencias subjetivas que no pueden ser capturados únicamente mediante cifras.

La elección de un enfoque mixto responde, entonces, a una necesidad metodológica concreta: obtener una visión completa del fenómeno de estudio. El carácter técnico del proyecto exige evaluar variables objetivas para validar el rendimiento del prototipo, pero también requiere una comprensión contextual y experiencial para garantizar que el sistema sea útil, usable y pertinente para su entorno. Como lo señala Bisquerra (2004), la integración de metodologías cuantitativas y cualitativas en la investigación educativa favorece el desarrollo de soluciones más integrales, capaces de responder tanto a criterios de eficiencia técnica como a requerimientos pedagógicos y sociales. En este sentido, el enfoque mixto no se percibe como una simple combinación de técnicas, sino como una estrategia coherente que articula distintas formas de conocimiento en función del objetivo general del estudio.

Cabe destacar que este enfoque también se justifica por el carácter constructivo y propositivo del proyecto. No se trata únicamente de estudiar un fenómeno, sino de intervenir sobre él mediante el diseño e implementación de una solución tecnológica concreta. De ahí que la investigación no solo busque medir o describir, sino también transformar la realidad institucional, mediante un proceso sistemático y participativo de desarrollo tecnológico. Esta dimensión transformadora encuentra respaldo en Tamayo y Tamayo (2005), quien argumenta que las investigaciones con propósito aplicado requieren de enfoques metodológicos flexibles que permitan tanto el análisis como la acción directa sobre el objeto de estudio. En este caso, el enfoque mixto permite validar técnicamente la funcionalidad del prototipo mientras se garantiza su pertinencia social y educativa a través del diálogo con los actores involucrados.

3.1.2 Finalidad de la Investigación

En cuanto a la finalidad de la investigación, se puede afirmar que es de carácter práctico e innovador. Su propósito es ofrecer una herramienta tangible que mejore los

procesos de aprendizaje, experimentación y prototipado en el entorno académico. Esta finalidad práctica se traduce en el desarrollo de un sistema funcional, acompañado de una interfaz de usuario amigable y de un manual técnico que permita su uso autónomo. Al mismo tiempo, la propuesta fomenta la innovación institucional, al promover la construcción de soluciones tecnológicas propias que reduzcan la dependencia de proveedores externos y fortalezcan la cultura de la autonomía tecnológica (Hernández Sampieri, 2014).

3.1.3 Dimensión Temporal

Desde la perspectiva de la dimensión temporal, el proyecto es de tipo sincrónico y de corte transversal, ya que se desarrolla dentro de un periodo académico determinado y está enfocado en atender una necesidad puntual en un momento específico. A diferencia de las investigaciones longitudinales, que estudian fenómenos a lo largo del tiempo, este proyecto se concentra en el diseño, desarrollo y evaluación de una solución tecnológica dentro de un marco temporal definido (Bisquerria Alzina, 2004). Sin embargo, su impacto podría proyectarse a mediano y largo plazo, en tanto se contempla la posibilidad de replicar, adaptar o mejorar el prototipo en futuras generaciones de estudiantes.

3.1.4 Marco de la Investigación

Respecto al marco de la investigación, este se ubica claramente en el ámbito tecnológico-educativo. Por un lado, implica el uso intensivo de tecnologías como la impresión 3D, los microcontroladores, los sensores de temperatura y fin de carrera, y el software libre para control de movimiento (por ejemplo, el firmware Marlin). Por otro lado, está vinculado directamente a los procesos pedagógicos y de formación profesional, ya que busca potenciar las competencias prácticas de los estudiantes y enriquecer los entornos de aprendizaje en la

universidad. La fusión de estos dos marcos —tecnológico y educativo— fortalece el carácter interdisciplinario del proyecto (Tamayo y Tamayo , 2005).

3.1.5 Naturaleza de la Investigación

En relación con la naturaleza de la investigación, esta es mixta, aunque con un predominio del enfoque cuantitativo. Se recoge información técnica y se hacen análisis objetivos a partir de variables medibles como el costo de los componentes, la precisión del prototipo, la calidad de impresión, y la estabilidad del sistema. Estas variables permiten evaluar el rendimiento del diseño propuesto y contrastarlo con otras opciones comerciales (Creswell, 2014). No obstante, también se incorpora un componente cualitativo al considerar las necesidades y opiniones de los usuarios, los cuales se obtienen mediante observación directa, entrevistas o sesiones de prueba. Esta complementariedad entre lo cuantitativo y lo cualitativo enriquece el proceso investigativo y permite un análisis más completo del fenómeno en estudio (Hernández Sampieri, 2014).

3.1.6 Carácter de la investigación

Finalmente, el carácter del proyecto es eminentemente constructivo y propositivo. Se propone una solución técnica nueva, desarrollada desde cero, y que busca ser replicable, escalable y sostenible. No se trata de una investigación puramente teórica o descriptiva, sino de un trabajo que culmina en un producto tangible, con aplicación directa en el entorno académico. Además, este carácter propositivo implica una visión transformadora, ya que el proyecto no solo atiende una necesidad puntual, sino que impulsa cambios en la forma en que se integran las tecnologías emergentes en los procesos educativos. Promueve la innovación, la creatividad y el aprendizaje activo, lo cual refuerza su valor académico e institucional (Tamayo y Tamayo , 2005).

3.2 Fuentes de Información

A continuación, se expone el análisis correspondiente a las fuentes y sujetos de información que respaldan el desarrollo del proyecto de graduación “Diseño e implementación de una impresora 3D accesible y adaptable para uso personal y académico”. Este análisis resulta fundamental para garantizar la validez, rigurosidad y pertinencia de los datos utilizados, así como para sustentar con solidez las decisiones técnicas y metodológicas adoptadas a lo largo del estudio. El análisis se realiza en dos secciones principales: las fuentes de información y los sujetos de información, siguiendo criterios típicos de la literatura metodológica científica.

Las fuentes de información utilizadas en el presente proyecto se han seleccionado bajo criterios de calidad académica, relevancia temática y confiabilidad, de acuerdo con lo recomendado por Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista (2014) y por el Departamento de Química Orgánica de la Universidad de Granada (2004). Estas fuentes se dividen en dos grandes categorías: primarias y secundarias.

3.2.1 Fuentes primarias

Dentro de esta categoría se encuentran todos aquellos materiales que contienen resultados originales, obtenidos a través de investigaciones directas. En este proyecto, las fuentes primarias incluyen artículos científicos indexados en bases de datos como Springer, Scopus y Google Scholar, centrados en el estudio de la tecnología de impresión 3D, la fabricación aditiva (FDM), y su aplicación en contextos educativos y técnicos. También forman parte de este grupo las memorias de proyectos previos comparables, como los trabajos de Bobo García (2013), Castañeda Becerra (2022) y Gualacata Gualacata (s.f.), cuyos contenidos han sido analizados para extraer buenas prácticas y referencias de diseño.

Asimismo, los datos obtenidos mediante observación directa, entrevistas a docentes y estudiantes, así como pruebas experimentales del prototipo diseñado, constituyen evidencia primaria, ya que se originan directamente en el contexto de estudio y aportan información empírica para la validación del sistema.

3.2.2 Fuentes secundarias

Este grupo está compuesto por libros especializados y tratados académicos que abordan, de forma sistemática y estructurada, los fundamentos conceptuales y metodológicos del proyecto. Entre las principales fuentes secundarias utilizadas se encuentran obras como “Metodología de la investigación” de Hernández Sampieri et al. (2014), “Research Design” de Creswell (2014), y “El proceso de la investigación científica” de Tamayo y Tamayo (2005). Estas referencias han sido fundamentales para la construcción del marco metodológico y el diseño del enfoque investigativo. También se han empleado textos técnicos como “Additive Manufacturing Technologies” de Gibson, Rosen y Stucker (2015) y “3D Printing and Additive Manufacturing” de Chua y Leong (2017), que explican en detalle los principios y componentes de la tecnología FDM. Estas publicaciones validan el diseño técnico del prototipo y respaldan las decisiones tomadas sobre componentes electrónicos, software y sensores.

Cabe destacar que todas las fuentes consultadas provienen de repositorios académicos reconocidos, editoriales especializadas o bibliotecas universitarias, y cuentan con autores claramente identificados, cumpliendo con el criterio de validez exigido por las normas metodológicas. No se han empleado fuentes de uso general sin respaldo académico, como Wikipedia o blogs informales.

3.2.3 Sujetos de información

En el marco del presente proyecto, los sujetos de información se definieron como aquellas personas vinculadas directamente con el entorno académico de la Universidad Hispanoamericana y que, por su experiencia y conocimiento, aportaron información valiosa para validar la necesidad y viabilidad de implementar una impresora 3D accesible y adaptable. Esta recolección de opiniones y perspectivas permitió fortalecer el diagnóstico inicial, evidenciando carencias tecnológicas, oportunidades pedagógicas y potencial de aplicación interdisciplinaria de la fabricación aditiva en entornos universitarios.

Uno de los principales sujetos de información fue el director de carrera, quien, desde su rol como gestor académico, ofreció una visión institucional sobre los lineamientos curriculares, la planificación de recursos y las demandas formativas emergentes en áreas técnicas. Su experiencia en administración educativa le permitió identificar las limitaciones actuales en infraestructura tecnológica, así como la urgencia de integrar herramientas como la impresión 3D para potenciar competencias prácticas en ingeniería, diseño, arquitectura y otras áreas afines. Este criterio coincide con lo planteado por Funes González, Vásquez Cibrián y Torres Martínez (2017), quienes destacan que las iniciativas tecnológicas desarrolladas desde el propio entorno institucional fortalecen la autonomía y reducen la dependencia de soluciones comerciales externas.

También se contó con la participación de docentes de áreas STEM, cuya trayectoria docente y técnica permitió explorar de forma detallada el impacto que tendría la incorporación de una impresora 3D en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Los profesores consultados señalaron que actualmente existen limitaciones significativas para realizar actividades de prototipado funcional, elaboración de modelos tridimensionales o simulaciones prácticas que

refuercen contenidos teóricos. Desde su perspectiva, la implementación de una herramienta de fabricación digital mejoraría significativamente el aprendizaje activo y permitiría a los estudiantes adquirir habilidades aplicadas alineadas con las exigencias del entorno profesional, lo cual es respaldado por Blikstein (2013) al afirmar que la democratización tecnológica favorece la equidad, la creatividad y la participación estudiantil en procesos formativos.

Por otra parte, los estudiantes universitarios fueron considerados como sujetos de información clave, dado que son los usuarios finales del sistema propuesto. Se recogieron opiniones de estudiantes de distintas carreras, quienes manifestaron una clara necesidad de contar con recursos tecnológicos que les permitan experimentar con prototipos físicos, validar ideas de diseño y ejecutar proyectos interdisciplinarios. En particular, destacaron que la ausencia de equipos como impresoras 3D limita sus oportunidades de desarrollar competencias prácticas en el aula, lo que afecta su preparación profesional. Además, valoraron positivamente la posibilidad de interactuar con una herramienta de código abierto y estructura modular, que no solo les permita imprimir objetos, sino también comprender su funcionamiento, modificarla y utilizarla como plataforma de aprendizaje. Esta perspectiva se encuentra en línea con el enfoque del diseño centrado en el usuario, propuesto por Brown (2009), donde la tecnología se adapta a las necesidades reales de quienes la utilizan, promoviendo la empatía, la iteración y la resolución creativa de problemas.

A continuación, se presenta la tabla con la caracterización general de los sujetos de información considerados en este proyecto:

Tabla 2. Formato para definición de sujetos de información

Puesto Laboral o Descripción general	Profesión u Oficio	Experiencia	Relación con el tema
---	---------------------------	--------------------	---------------------------------

Director de carrera universitaria	Ingeniero / Gestor académico	Más de 10 años en gestión curricular y formación técnica	Brinda perspectiva estratégica sobre necesidades tecnológicas en la enseñanza
Profesor universitario	Docente en áreas STEM	5 a 15 años de experiencia docente y técnica	Aporta conocimiento didáctico sobre la aplicación de tecnologías emergentes
Estudiante universitario	Estudiante de Ingeniería, Arquitectura o Diseño	Formación en curso; ha cursado materias prácticas con limitaciones de recursos	Expresa necesidades reales en procesos de aprendizaje práctico y prototipado

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

3.3 Técnicas y Herramientas

Para llevar a cabo de forma efectiva el proyecto "Diseño e implementación de una impresora 3D accesible y adaptable para uso personal y académico", se emplearon técnicas y herramientas específicas para obtener información valiosa y pertinente, necesaria para sustentar las decisiones técnicas y metodológicas durante todas las fases del proyecto. Estas técnicas permitieron recopilar datos tanto cuantitativos como cualitativos, facilitando así una

comprensión completa del contexto investigado y asegurando la pertinencia y validez del estudio.

A continuación se describen detalladamente las técnicas y herramientas utilizadas:

3.3.1 Observación Directa

La observación directa es una técnica cualitativa que implica la recopilación de datos mediante la observación sistemática y estructurada del comportamiento de los usuarios o del funcionamiento de equipos en contextos reales (Bisquerra Alzina, 2004). Esta técnica fue utilizada en la fase experimental del proyecto para evaluar el funcionamiento real del prototipo de impresora 3D en un entorno controlado de laboratorio universitario.

La herramienta empleada fue una ficha de observación, donde se registraron de manera sistemática variables como tiempo de impresión, precisión dimensional, estabilidad operativa y posibles fallos durante el proceso. Esta información permitió obtener datos objetivos sobre el desempeño técnico del prototipo, así como identificar áreas críticas para futuras mejoras.

3.3.2 Entrevista Semiestructurada

Según Hernández Sampieri et al. (2014), la entrevista semiestructurada es una técnica cualitativa que permite explorar en profundidad las percepciones, opiniones y experiencias de los participantes mediante un cuestionario base que guía la conversación, pero dejando libertad para profundizar en temas relevantes que puedan surgir durante la interacción. En este proyecto, la entrevista semiestructurada se aplicó principalmente en la etapa inicial de diagnóstico, para identificar las necesidades técnicas y académicas reales de la comunidad universitaria en relación con la impresión 3D.

La herramienta empleada fue una guía de entrevista, elaborada con preguntas abiertas sobre la experiencia previa de los participantes con tecnologías de impresión 3D, sus

necesidades específicas, limitaciones percibidas y expectativas sobre una solución tecnológica interna. Esta herramienta facilitó la recolección organizada de información cualitativa clave, permitiendo adaptar el diseño del prototipo a las condiciones concretas del entorno académico.

3.3.3 Análisis Documental

El análisis documental es una técnica cualitativa que consiste en revisar de forma sistemática documentos existentes, incluyendo literatura científica, tesis previas, manuales técnicos y especificaciones de componentes, para extraer información relevante (Creswell, 2014). En este proyecto, el análisis documental permitió fundamentar conceptualmente la elección de componentes electrónicos, mecánicos y estructurales del prototipo, así como validar las decisiones técnicas con base en experiencias anteriores registradas en la literatura.

La herramienta principal para esta técnica fue una matriz de análisis documental, donde se sintetizaron los resultados, recomendaciones y conclusiones extraídas de documentos clave previamente identificados. Esto permitió una organización sistemática de la información técnica recopilada, garantizando que las decisiones adoptadas se sustentaran en evidencia previa y recomendaciones prácticas probadas.

3.3.4 Cuestionarios

Los cuestionarios constituyen una técnica cuantitativa efectiva para recopilar información estructurada sobre percepciones, valoraciones y datos específicos de un grupo amplio de personas (Tamayo y Tamayo , 2005). En este proyecto, los cuestionarios se aplicaron al personal académico y estudiantes de diversas carreras para evaluar aspectos como facilidad de uso del sistema, claridad de la interfaz desarrollada, calidad de impresión obtenida y nivel de satisfacción general con la solución implementada.

Se utilizó una herramienta tipo encuesta, compuesta por preguntas cerradas con escalas tipo Likert, así como preguntas abiertas que permitieran recolectar sugerencias o comentarios adicionales. La información recopilada mediante esta herramienta facilitó un análisis cuantitativo sobre la aceptación del prototipo y proporcionó retroalimentación valiosa para ajustes finales del sistema.

3.4 Variables y Diseño de la Investigación

El análisis de variables constituye una etapa crucial dentro de todo proceso investigativo, ya que permite describir, explicar y comprender la variabilidad inherente a los fenómenos estudiados. En este sentido, las variables representan las unidades básicas de información que se desean examinar y medir en una investigación, con el objetivo de establecer relaciones entre ellas y, de este modo, generar conocimiento aplicado. Según Trochim (2005), una variable se define como "cualquier característica que puede asumir diferentes valores o categorías", y se convierte en el eje fundamental para la recolección, análisis e interpretación de los datos empíricos.

Desde un enfoque cuantitativo, Creswell (2014) sostiene que las variables deben estar claramente definidas, ser observables, medibles y corresponderse con las hipótesis planteadas, con el fin de garantizar la validez de los resultados. Por su parte, Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista (2014) destacan que las variables operativas deben alinearse directamente con los objetivos y preguntas de investigación, de manera que exista coherencia entre el planteamiento del problema, la estructura metodológica y los resultados esperados. En cambio, cuando el enfoque es cualitativo, se trabaja con categorías de análisis, las cuales agrupan elementos con características comunes y permiten explorar dimensiones más interpretativas del fenómeno en estudio.

En el caso particular del presente proyecto, cuyo enfoque metodológico es mixto con un predominio de diseño aplicado, se establecen tanto variables cuantitativas como categorías cualitativas, dependiendo de la naturaleza de cada objetivo específico. Las variables cuantitativas permitirán evaluar aspectos técnicos, funcionales y económicos de la impresora 3D propuesta, tales como precisión de impresión, costo-beneficio o rendimiento operativo. A su vez, las categorías cualitativas facilitarán la interpretación del impacto académico, la apropiación tecnológica y el grado de participación activa de los estudiantes y docentes durante la implementación del prototipo.

De esta manera, las variables se han definido en correspondencia directa con los objetivos específicos del proyecto, con el fin de asegurar que cada una de ellas contribuya de forma efectiva al cumplimiento del objetivo general: Diseñar e implementar una impresora 3D accesible y adaptable para uso personal y académico en la Universidad Hispanoamericana.

Esta estrategia garantiza una estructura metodológica coherente, donde los datos recogidos permitirán tanto evaluar el rendimiento del prototipo como reflexionar sobre su pertinencia pedagógica e institucional.

Tabla 3. Definición de Variables según los Objetivos específicos

Objetivos Específicos	Variables asociadas / Categorías de análisis	Descripción
Identificar las necesidades técnicas y académicas en relación con el uso de impresión 3D	Necesidades técnicas académicas	Se refiere a las carencias, limitaciones y demandas de estudiantes y docentes en

		cuanto a equipos de prototipado.
Seleccionar los componentes accesibles y funcionales para la impresora	Selección de componentes técnicos (variable cuantitativa)	Evaluación de costo, disponibilidad y funcionalidad de elementos electrónicos, mecánicos y de control.
Diseñar el modelo estructural, electrónico y de control de la impresora	Diseño funcional del prototipo	Consideración del diseño CAD, integración de hardware y software open-source en una arquitectura modular.
Implementar un prototipo funcional y operativo en condiciones controladas	Operatividad del prototipo (variable técnica funcional)	Medición del funcionamiento del sistema: precisión, repetibilidad, calidad de impresión y estabilidad.
Evaluar el impacto del prototipo en el entorno académico mediante pruebas experimentales	Impacto académico percibido (categoría cualitativa)	Análisis de las percepciones de usuarios, utilidad práctica en cursos y grado de apropiación tecnológica.
Establecer criterios para su escalabilidad y replicabilidad en otros entornos educativos	Escalabilidad y replicabilidad (categoría de análisis)	Potencial de réplica del prototipo en otras universidades, considerando recursos y adaptabilidad técnica.

Comparar soluciones similares desarrolladas previamente en entornos académicos	Análisis comparativo técnico	Identificación de similitudes y diferencias entre modelos previos y el actual, a nivel de diseño y aplicación.
Integrar funciones de actualización futura (como multi-extrusión o control remoto)	Capacidad de expansión tecnológica	Evaluación de la posibilidad técnica y estructural de incorporar nuevas funcionalidades.
Promover el aprendizaje activo y la apropiación tecnológica	Participación activa del usuario (categoría cualitativa)	Grado de involucramiento del estudiante en el uso, comprensión y modificación de la impresora.
Realizar un análisis costo-beneficio de la implementación	Costo-beneficio del prototipo (variable cuantitativa)	Relación entre inversión requerida y beneficios educativos, funcionales y de acceso tecnológico.

Fuente: elaboración Propia (Vega Moreira , 2025)

Esta clasificación de las variables garantiza una correspondencia directa entre los objetivos específicos y los elementos que se pretenden observar, analizar o medir a lo largo del proyecto. Al establecer esta relación explícita, se asegura la coherencia metodológica necesaria para orientar adecuadamente el diseño de los instrumentos de recolección de datos, así como para fundamentar las interpretaciones y conclusiones que se deriven del estudio. De este modo, las variables no solo permiten estructurar el análisis empírico, sino que también se

convierten en una herramienta clave para monitorear el cumplimiento progresivo de los objetivos trazados.

Desde una perspectiva técnica, esta clasificación facilita la evaluación de componentes fundamentales como el rendimiento del prototipo, la eficiencia del sistema de impresión y la integración de los elementos mecánicos y electrónicos. Por otra parte, desde un enfoque pedagógico, las categorías cualitativas asociadas permiten analizar la apropiación tecnológica por parte de los usuarios, el desarrollo de competencias técnicas, la participación activa en el proceso de implementación y el impacto formativo en contextos educativos.

En conjunto, esta estrategia metodológica permite evaluar con claridad los resultados del proyecto, atendiendo a dimensiones tanto cuantificables como interpretativas que resultan relevantes para su implementación institucional. La incorporación de variables mixtas responde así a la naturaleza multidimensional del objeto de estudio y favorece una comprensión integral de los beneficios y desafíos asociados a la integración de una impresora 3D accesible y adaptable en el entorno académico de la Universidad Hispanoamericana.

3.5 Implementación de la Investigación

El diseño de la investigación constituye la estructura metodológica sobre la cual se construye el desarrollo del presente Trabajo Final de Graduación. Tal como señala Trochim (2005), este diseño actúa como el "pegamento" que cohesiona el proyecto, articulando de forma sistemática todos los componentes esenciales para responder a las preguntas centrales del estudio. En ese sentido, puede entenderse como una receta detallada que no solo incluye los elementos necesarios, sino también el procedimiento ordenado para alcanzar resultados válidos y pertinentes. Este diseño, por tanto, representa la columna vertebral del proceso

investigativo, permitiendo organizar las etapas de forma lógica, coherente y funcional, con el propósito de garantizar el éxito del estudio.

Para el desarrollo del presente proyecto, orientado al diseño e implementación de una impresora 3D accesible y adaptable para uso académico, se ha establecido un diseño de investigación mixto, de tipo aplicado, analítico y de campo. El enfoque es predominantemente cualitativo en sus fases diagnósticas y de análisis institucional, pero incorpora técnicas cuantitativas en la validación técnica y funcional del prototipo. A continuación, se describen las principales etapas que estructuran el proceso metodológico.

- **Etapas 1: Diagnóstico contextual y recolección de información cualitativa**

En esta primera fase se realizó una investigación de campo en el entorno universitario para identificar las necesidades, limitaciones y oportunidades relacionadas con el acceso a tecnologías de prototipado. Se aplicaron técnicas como entrevistas semiestructuradas a docentes, estudiantes y personal administrativo, así como la observación directa de los espacios de laboratorio y sus limitaciones técnicas. Esta etapa permitió establecer las categorías de análisis relacionadas con accesibilidad, pertinencia académica y autonomía institucional, fundamentales para orientar el diseño posterior del prototipo.

- **Etapas 2: Revisión documental y análisis comparativo de referentes técnicos**

Durante esta etapa se llevó a cabo una revisión bibliográfica y documental profunda sobre proyectos previos relacionados con impresoras 3D FDM accesibles. Se analizaron tesis, artículos científicos, manuales técnicos y documentación de comunidades open-source como RepRap. Esta fase incluyó el estudio de diseños mecánicos, configuraciones electrónicas, firmwares utilizados (como Marlin), y propuestas similares que sirvieron como base para adaptar buenas prácticas al contexto de la Universidad Hispanoamericana. Se empleó análisis

comparativo como técnica central, permitiendo establecer criterios de selección para los componentes, estructura y software del prototipo.

- **Etapa 3: Diseño conceptual y desarrollo del prototipo**

En esta etapa se conceptualizó el diseño preliminar del prototipo de impresora 3D, considerando criterios de accesibilidad, modularidad, bajo costo y funcionalidad educativa. Se utilizó software CAD para el modelado 3D de las piezas estructurales, y se seleccionaron componentes electrónicos compatibles con plataformas open-source. Las técnicas empleadas incluyeron modelado digital, simulaciones estructurales, y pruebas de compatibilidad entre componentes. Esta etapa culminó con la construcción física del prototipo y su puesta en marcha inicial.

- **Etapa 4: Validación técnica y evaluación funcional**

Una vez implementado el prototipo, se procedió a su validación a través de pruebas de impresión, calibraciones y evaluación de parámetros como calidad dimensional, tiempo de impresión y estabilidad. Se aplicaron técnicas cuantitativas como el análisis de rendimiento y la medición de errores en piezas impresas. Los resultados obtenidos fueron comparados con estándares básicos de calidad en impresión FDM, lo que permitió ajustar el sistema para su uso académico.

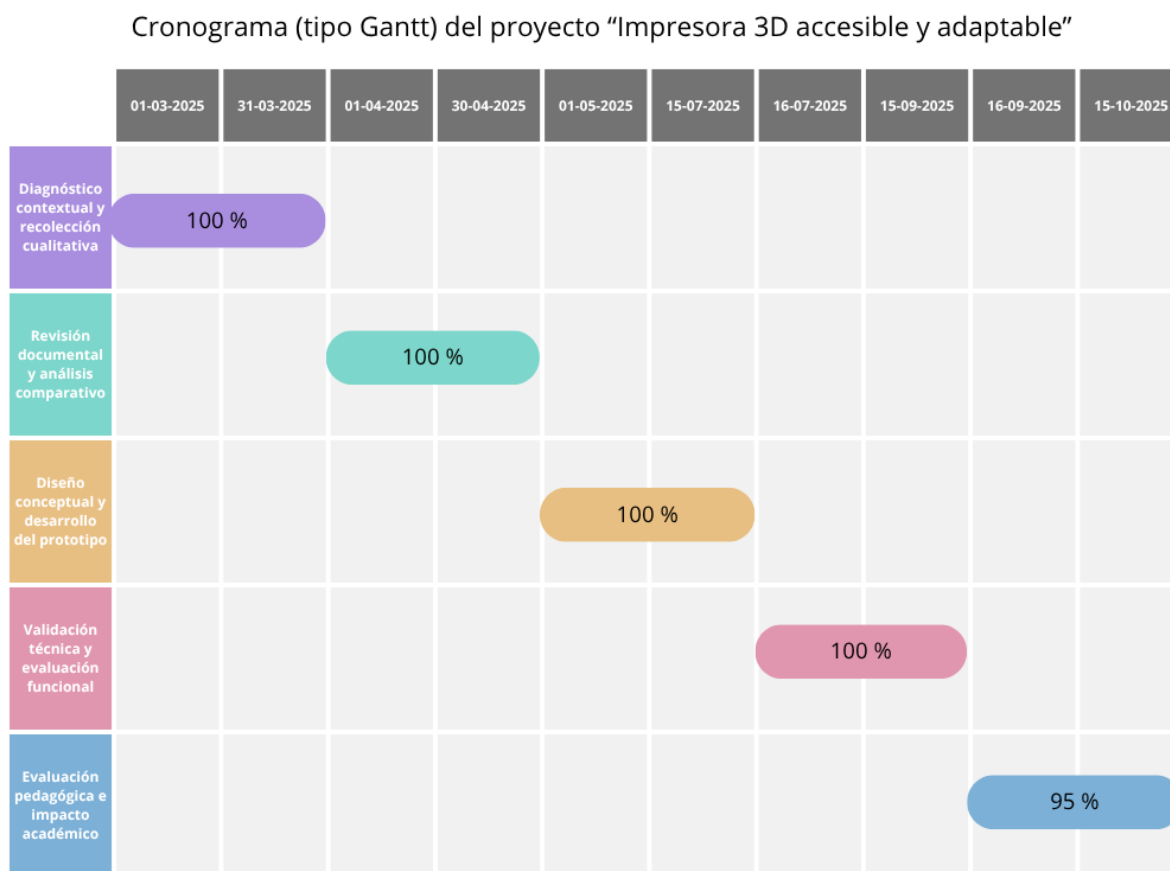
- **Etapa 5: Evaluación pedagógica e impacto académico**

Finalmente, se evaluó el impacto educativo del proyecto mediante técnicas cualitativas como encuestas y entrevistas a usuarios (profesores y estudiantes) que interactuaron con el prototipo. Esta etapa permitió analizar la apropiación tecnológica, el aprendizaje activo promovido y la percepción institucional sobre la utilidad del sistema. Se identificaron

oportunidades de mejora y se generaron recomendaciones para futuras réplicas o mejoras del diseño.

Este diseño metodológico asegura que el proyecto avance de manera ordenada, integrando herramientas y técnicas específicas en cada fase, y alineándose con los objetivos y variables definidos. Así, se garantiza no solo la validez interna del estudio, sino también su aplicabilidad real dentro del entorno educativo para el cual fue concebido.

Figura 2. Cronograma del proyecto “Impresora 3D accesible y adaptable” con el avance por etapa y marca temporal del 18-oct-2025.



Fuente elaboración propia (Vega Moreira , 2025).

El cronograma evidencia una evolución ordenada y acorde con el diseño metodológico. Primero se completan el diagnóstico y la revisión documental para sustentar las

decisiones de ingeniería; con esos insumos se aborda el diseño y la construcción del prototipo; luego, la validación que permite cerrar brechas de desempeño antes de la evaluación pedagógica. A la fecha, el proyecto está prácticamente concluido, con la etapa 5 en su fase final ($\approx 95\%$), lo que refleja una gestión del tiempo eficaz, un encadenamiento coherente de entregables y una trazabilidad clara entre objetivos y resultados. Esta secuencia minimiza reprocesos, agiliza la documentación y garantiza la aplicabilidad del sistema en el entorno universitario.

Capítulo IV

Diagnóstico de la Situación Actual

El presente capítulo tiene como objetivo realizar un diagnóstico integral de la situación actual en relación con el acceso, uso y adaptación de tecnologías de impresión 3D en la Universidad Hispanoamericana. El propósito fundamental de esta sección es identificar claramente las brechas existentes entre las condiciones tecnológicas actuales y las condiciones ideales propuestas por estándares académicos y mejores prácticas identificadas en la literatura especializada. Para ello, se emplearon técnicas cuantitativas y cualitativas que permitieron obtener una visión integral del problema, estableciendo así una base sólida para justificar la necesidad de implementar una solución tecnológica accesible, adaptable y sostenible en el contexto institucional.

4.1 Descripción de la Situación Actual

La Universidad Hispanoamericana, al igual que muchas instituciones educativas en América Latina, enfrenta una situación compleja en términos del acceso a tecnologías avanzadas de fabricación digital, específicamente impresoras 3D. En la actualidad, la institución presenta una evidente limitación para integrar esta tecnología en sus procesos académicos debido principalmente a los elevados costos de adquisición, mantenimiento y operación de equipos comerciales existentes en el mercado. Esta limitación financiera impide que la UH pueda adquirir suficientes impresoras 3D que permitan un uso extendido y cotidiano en actividades formativas y proyectos académicos.

Adicionalmente, muchas soluciones comerciales de prototipado y automatización se ofrecen como plataformas poco modulares y con componentes propietarios, lo que reduce la capacidad de personalización, dificulta la integración de elementos externos y limita la adaptabilidad a los requerimientos particulares de un laboratorio universitario. En la práctica, estas restricciones disminuyen el margen de maniobra institucional para ajustar la tecnología a

objetivos curriculares, presupuestos y condiciones reales de uso (Doloi et al., 2025). Como consecuencia, se amplía la brecha tecnológica: el estudiantado dispone de menos oportunidades para iterar diseños, validar prototipos y conectar de forma ágil la teoría trabajada en clase con la aplicación práctica mediante ciclos de prototipado rápido dentro del entorno académico (Monroy-Peláez, Juárez-Acosta, Miralrio, & Montes de Oca, 2025).

4.2 Recolección y Validación de Datos

La etapa de recolección y validación de datos representó una fase crítica durante el desarrollo del diagnóstico situacional para la implementación del proyecto de impresión 3D en la Universidad Hispanoamericana. Esta etapa permitió la obtención de información confiable, precisa y representativa, indispensable para describir objetivamente la situación actual e identificar claramente las brechas existentes respecto a la condición deseada. En ese sentido, se utilizaron diversas fuentes y técnicas metodológicas que garantizaron la rigurosidad y la validez científica del análisis efectuado (Creswell, 2014; Hernández Sampieri et al., 2014).

Para asegurar la confiabilidad y validez interna de la información recopilada, se implementaron procedimientos específicos de validación, incluyendo la triangulación metodológica, técnica altamente recomendada para fortalecer la consistencia de los resultados investigativos (Creswell, 2014; Trochim, 2005). Inicialmente, se realizó una observación directa estructurada que permitió verificar de manera objetiva las condiciones técnicas y operativas presentes en los laboratorios y espacios académicos de la institución. Dicha técnica se fundamentó en un protocolo claramente definido, lo que garantizó la uniformidad en la observación, reduciendo significativamente sesgos subjetivos y facilitando comparaciones coherentes (Hernández Sampieri et al., 2014). Asimismo, esta observación fue complementada

con evidencias visuales mediante fotografías y registros audiovisuales, fortaleciendo aún más la validez del diagnóstico efectuado.

Paralelamente, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con actores clave del contexto institucional, tales como el director académico, profesores especializados en áreas técnicas y estudiantes involucrados en proyectos prácticos de prototipado. Este instrumento permitió profundizar en aspectos cualitativos y explorar detalladamente necesidades académicas específicas, validando así las observaciones iniciales efectuadas durante el trabajo de campo (Tamayo y Tamayo , 2005). Las entrevistas fueron debidamente grabadas y transcritas para asegurar exactitud y precisión en la recopilación de información, facilitando el posterior análisis temático para identificar tendencias relevantes en las respuestas obtenidas (Creswell, 2014).

Finalmente, se aplicaron cuestionarios estructurados, diseñados con el fin de recolectar información cuantitativa y cualitativa de una muestra representativa del personal docente y estudiantes. Estos cuestionarios fueron previamente validados mediante una prueba piloto, la cual evaluó la claridad, precisión y relevancia de cada ítem planteado (Trochim, 2005). Dicha prueba piloto permitió realizar ajustes al instrumento definitivo, eliminando posibles ambigüedades y asegurando su pertinencia contextual (Hernández Sampieri et al., 2014). Los cuestionarios incluyeron escalas tipo Likert, preguntas cerradas y abiertas, que facilitaron la evaluación sistemática de aspectos como la percepción sobre el uso actual de tecnologías externas, frecuencia de dificultades en la realización de prototipos académicos, satisfacción con los recursos tecnológicos disponibles y expectativas respecto a la incorporación futura de una solución tecnológica interna (Tamayo y Tamayo , 2005).

La combinación de estas técnicas —observación directa estructurada, entrevistas semiestructuradas y cuestionarios debidamente validados— permitió un proceso riguroso de triangulación metodológica. Dicho proceso fortaleció significativamente la validez de los resultados obtenidos, facilitando la comparación y el contraste de la información recolectada desde diferentes fuentes y perspectivas metodológicas. De este modo, las conclusiones derivadas del diagnóstico se fundamentan en una base empírica sólida y representativa del contexto institucional, asegurando así la rigurosidad, precisión y utilidad práctica del diagnóstico para sustentar la implementación posterior del proyecto tecnológico propuesto (Creswell, 2014; Hernández Sampieri et al., 2014; Trochim, 2005).

4.2.1 Recolección de datos

Para realizar un diagnóstico completo y fundamentado de la situación actual, se aplicaron diversas técnicas para la obtención de información empírica. Se utilizó la observación directa, entrevistas semiestructuradas y cuestionarios dirigidos a docentes, estudiantes y personal técnico-administrativo de la Universidad Hispanoamericana, con el propósito de identificar claramente las necesidades tecnológicas, limitaciones presupuestarias y capacidades internas existentes.

Mediante la observación directa se comprobó la inexistencia de equipamiento propio de impresión 3D en los laboratorios y espacios de trabajo estudiantil. Esta técnica permitió registrar las dificultades que enfrentan los estudiantes para la realización de proyectos académicos que requieren componentes físicos o prototipos funcionales. Por otra parte, a través de entrevistas semiestructuradas realizadas con el director de carrera y profesores del área técnica, se confirmó la necesidad institucional de contar con tecnologías emergentes accesibles que fortalezcan la

formación práctica en carreras técnicas como Ingeniería Electrónica, Mecatrónica o Diseño Industrial (Funes Gonzalez , Vásquez Cibrián , & Torres Martinez, 2017).

4.2.2 Instrumento para recolección de datos

Los instrumentos utilizados durante el proceso de recolección de datos fueron diseñados con rigor metodológico, garantizando la obtención de información válida y confiable. En las entrevistas semiestructuradas se utilizó una guía de preguntas abiertas orientadas a explorar en profundidad la percepción de las necesidades tecnológicas, limitaciones presupuestarias, capacidad técnica instalada y expectativas institucionales sobre la adopción de soluciones tecnológicas propias.

Asimismo, se aplicaron cuestionarios estructurados con escalas tipo Likert, dirigidos principalmente a estudiantes y profesores para evaluar variables como el grado de satisfacción con las tecnologías actualmente disponibles, frecuencia de uso de tecnologías externas, grado de dificultad percibido en la realización de proyectos técnicos y nivel de interés en implementar soluciones tecnológicas propias, accesibles y adaptables. Estos instrumentos fueron validados previamente en una fase piloto con el objetivo de asegurar claridad, precisión y pertinencia contextual de las preguntas planteadas (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2014).

4.3 Análisis de Brechas

Con base en los resultados de la etapa de recolección de datos, se identificaron con claridad las brechas que separan la situación actual de la Universidad Hispanoamericana de un modelo deseado de autonomía tecnológica alineado con referentes académicos y mejores prácticas en educación y tecnología. Desde una perspectiva administrativa y operativa, se constató una distancia significativa entre procesos mayormente manuales y la dependencia de

servicios externos, frente al escenario ideal de procesos internos, eficientes y automatizados; los costos asociados a la tercerización de la impresión 3D resultan elevados y la dependencia de proveedores introduce demoras que afectan la programación y el cierre oportuno de proyectos. Migrar hacia una solución propia permitiría reducir costos, acortar tiempos y robustecer la autonomía institucional, incrementando la eficiencia académica y la capacidad de respuesta (Chua & Leong, 2017). En el plano técnico, el diagnóstico evidencia limitaciones en infraestructura física y lógica: no se dispone de una impresora 3D funcional propia ni de personal con formación específica para su mantenimiento, lo que configura una brecha crítica respecto de la situación deseable; no obstante, esta carencia se interpreta también como una oportunidad para desarrollar competencias internas en mantenimiento, soporte y dominio de tecnologías emergentes que, una vez consolidadas, habiliten un modelo sostenible. En cuanto a la percepción, los datos provenientes de cuestionarios y entrevistas revelan una actitud favorable hacia la adopción de capacidades internas, con alta disposición a capacitarse y una valoración consistente de los beneficios pedagógicos y de innovación, lo que sugiere condiciones institucionales propicias para el cambio si se gestionan adecuadamente los habilitadores de infraestructura y capital humano.

A continuación, se presenta la Tabla 4 y la figura 2 , que resume los resultados promedio obtenidos en el cuestionario aplicado, junto con la interpretación cualitativa de cada ítem.

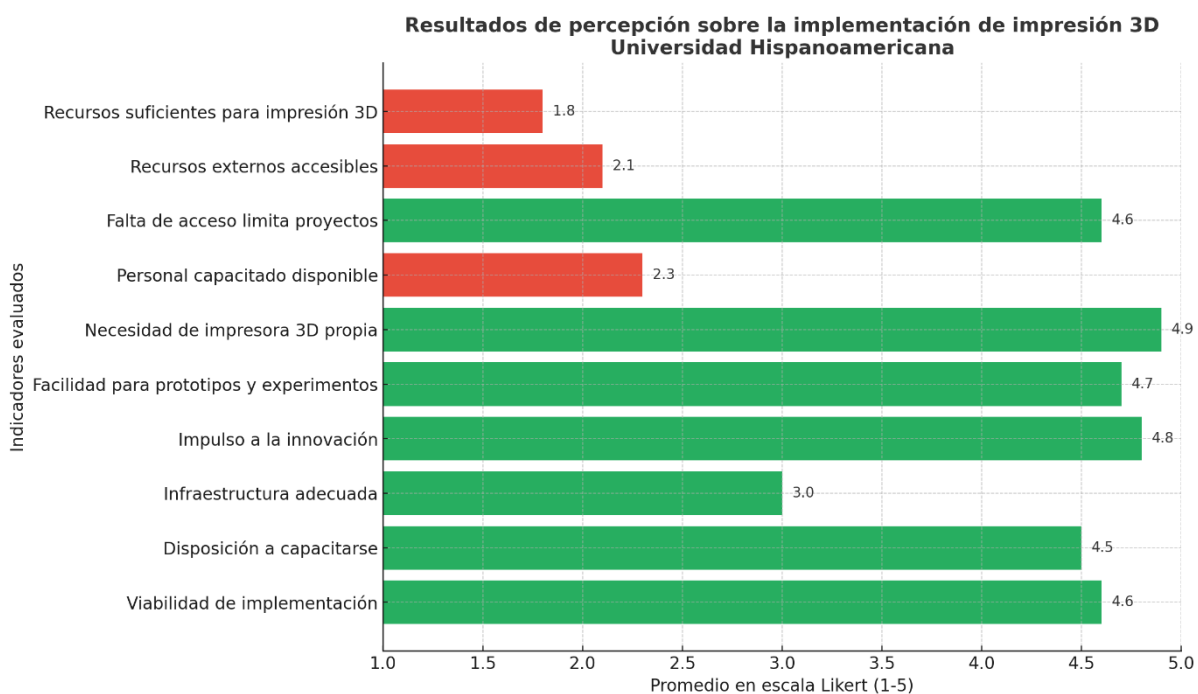
Tabla 4. Resultados e interpretación del diagnóstico de impresión 3D en la Universidad Hispanoamericana (N=15)

Ítem	Promedio	Interpretación
Recursos suficientes para impresión 3D	1.8	Deficiencia marcada en recursos internos
Recursos externos accesibles	2.1	Accesibilidad económica externa baja
Falta de acceso limita proyectos	4.6	Alta limitación percibida en proyectos
Personal capacitado disponible	2.3	Capacitación técnica insuficiente
Necesidad de impresora 3D propia	4.9	Necesidad institucional prioritaria
Facilidad para prototipos y experimentos	4.7	Alta utilidad para prototipado académico
Impulso a la innovación	4.8	Potencial alto para innovación
Infraestructura adecuada	3.0	Infraestructura moderadamente adecuada
Disposición a capacitarse	4.5	Alta disposición a capacitarse
Viabilidad de implementación	4.6	Alta viabilidad percibida

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

Nota. Se evidencia una carencia marcada de recursos e infraestructura, así como la necesidad de capacitación técnica específica; sin embargo, existe un entorno altamente favorable para la adopción de la tecnología, con disposición institucional y percepción positiva de su viabilidad.

Figura 3. Resultados de percepción sobre la implementación



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

El análisis de los datos recopilados a través de cuestionarios aplicados a una muestra representativa de 15 participantes —incluyendo docentes, estudiantes y personal técnico— revela una situación contrastante en cuanto a la disposición institucional y las limitaciones materiales respecto a la impresión 3D en la Universidad Hispanoamericana.

Por un lado, los puntajes en recursos internos (1.8) y accesibilidad a recursos externos (2.1) confirman que la universidad opera con un déficit estructural: la ausencia de

equipamiento propio y los costos de servicios de terceros restringen la práctica sistemática de prototipado y experimentación. Esta doble limitación se refleja en la alta percepción de restricción para proyectos (4.6), que impacta la frecuencia de iteraciones, el cumplimiento de cronogramas y la maduración de competencias prácticas. A la par, el indicador de personal capacitado disponible (2.3) señala brechas en el dominio técnico y en el mantenimiento, lo que justifica un plan formativo específico. No obstante, la disposición a capacitarse (4.5) crea una ventana de oportunidad para implementar programas escalonados que aborden operación, seguridad, mantenimiento preventivo y resolución de fallas, elevando progresivamente la autonomía técnica y la confiabilidad operativa.

En el contexto de la carrera de Ingeniería Electrónica, los resultados obtenidos apuntan con fuerza a la necesidad de contar con una impresora 3D propia como recurso. La prioridad asignada a este equipo (4.9) se relaciona directamente con su alta utilidad para prototipos y experimentos (4.7) y con un potencial de innovación percibido como sólido (4.8). En conjunto, estos datos reflejan que la comunidad académica reconoce la fabricación digital como una herramienta transversal que facilita el aprendizaje activo, la iteración de soluciones y la aplicación práctica de contenidos técnicos.

Para la carrera, el valor del prototipado rápido se traduce en beneficios concretos dentro del proceso formativo. Una impresora 3D permite materializar componentes necesarios para el desarrollo y validación de proyectos, tales como gabinetes para circuitos, soportes para sensores, piezas para sistemas robóticos, adaptadores para pruebas, elementos de fijación o estructuras funcionales para módulos con microcontroladores y sistemas embebidos. Esto fortalece la relación entre lo que se diseña y analiza en la teoría (modelado, diseño de

sistemas, integración electrónica) y lo que se prueba y mejora en la práctica, promoviendo ciclos de construcción–evaluación–ajuste más eficientes.

Sin embargo, el análisis también muestra que el entorno de soporte se percibe como apenas moderadamente adecuado (3.0), lo que sugiere que la implementación debe ir acompañada de mejoras en infraestructura. En un laboratorio de Ingeniería Electrónica, estas adecuaciones no son opcionales: se requiere asegurar condiciones de estabilidad eléctrica, conectividad, ventilación y una distribución del espacio que permita operar de forma segura, mantener el orden de trabajo y sostener la productividad cuando el uso sea continuo.

La viabilidad de implementación (4.6) respalda que el proyecto es pertinente, pero su éxito dependerá de una hoja de ruta estructurada alrededor de tres ejes que deben considerarse inseparables. En primer lugar, se necesita una inversión focalizada no solo en el equipo, sino también en repuestos y consumibles críticos para evitar paros operativos. En segundo lugar, se vuelve indispensable desarrollar programas de capacitación con criterios estandarizados y certificaciones internas que garanticen un uso consistente y seguro. En tercer lugar, hace falta un modelo de gestión claro, que incorpore mantenimiento preventivo planificado, control de insumos, protocolos de operación y seguimiento con indicadores como tiempos de prototipado, nivel de uso, incidencias y satisfacción de usuarios.

Bajo estas condiciones, la brecha tecnológica identificada deja de ser un obstáculo y se convierte en una oportunidad real para fortalecer la autonomía tecnológica, optimizar recursos y elevar la calidad del aprendizaje práctico en Ingeniería Electrónica, alineando el proceso formativo con enfoques actuales basados en proyectos y experimentación aplicada.

A continuación, se presenta la Tabla 5, que resume los resultados promedio obtenidos en la encuesta aplicada, junto con la interpretación cualitativa de cada ítem.

Tabla 5. Resultados e interpretación de la entrevista semiestructurada sobre impresión 3D en la Universidad Hispanoamericana (N=15)

Pregunta	Categoría / Respuesta frecuente	Frecuencia (de 15)	%
1	Limitación de recursos económicos	12	80%
1	Falta de equipos propios	10	66.7%
1	Capacitación insuficiente	9	60%
2	Laboratorios con poca capacidad tecnológica	11	73.3%
2	Limitado soporte operativo	8	53.3%
3	Impacto negativo en calidad educativa	13	86.7%
3	Retraso en desarrollo de competencias técnicas	10	66.7%

4	Necesidad de mayor acceso a equipos	14	93.3%
4	Necesidad de formación técnica	12	80%
5	Mayor innovación y creatividad	13	86.7%
5	Reducción de costos a largo plazo	9	60%
6	Facilidad de uso y mantenimiento	12	80%
6	Calidad de impresión y velocidad	11	73.3%
7	Recursos técnicos limitados para soporte	10	66.7%
7	Necesidad de capacitación en mantenimiento	9	60%
8	Opinión positiva y apoyo al proyecto	14	93.3%
8	Inquietudes sobre sostenibilidad a largo plazo	6	40%

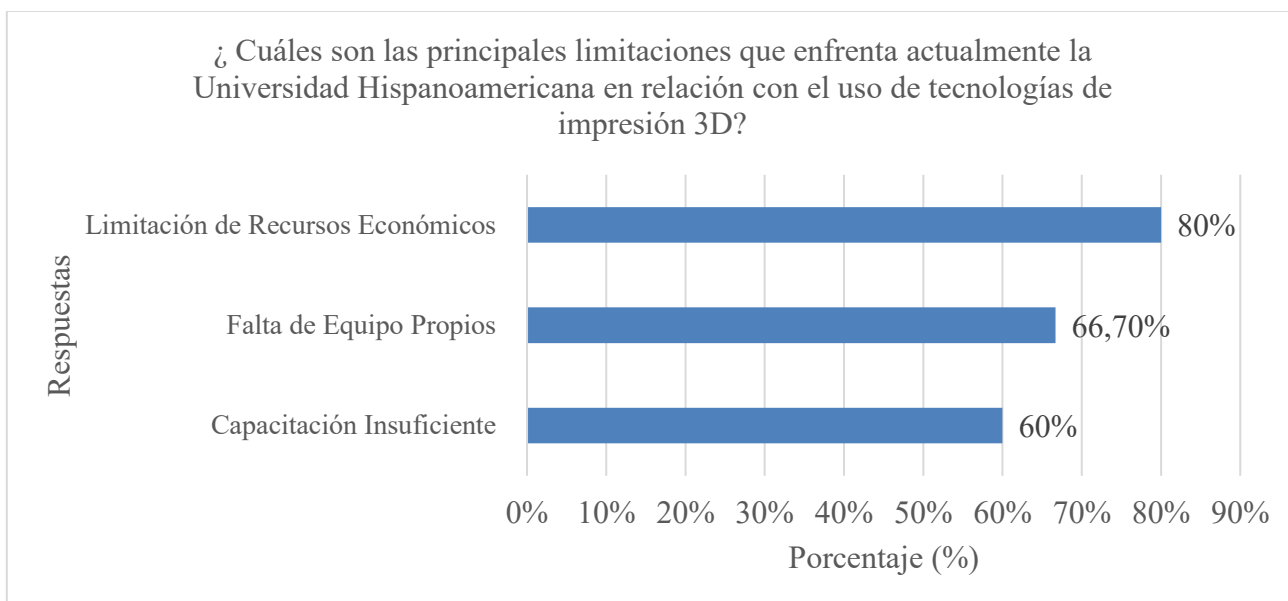
9	Capacitación técnica continua	13	86.7%
9	Infraestructura adecuada	11	73.3%
10	Sugerencias para más apoyo institucional	8	53.3%
10	Comentarios sobre integración curricular	7	46.7%

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

Nota. Los porcentajes se calcularon sobre N=15. Dado que las categorías por pregunta no son excluyentes, las sumas de porcentajes por pregunta pueden superar el 100 %. Los valores con decimales se redondearon a una cifra.

Con base en los resultados obtenidos en la Tabla 5, se observa que las principales restricciones se concentran en factores estructurales y de capacidad instalada —en particular, la limitación de recursos económicos, la ausencia de equipos propios y la brecha de capacitación—, lo cual condiciona la autonomía operativa y ralentiza el ciclo de prototipado. Para sintetizar el peso relativo de estas barreras y su incidencia en la práctica académica, la figura 4 ofrece una representación gráfica de las limitaciones actuales y destaca los frentes que requieren acciones prioritarias para viabilizar una adopción sostenible de la impresión 3D.

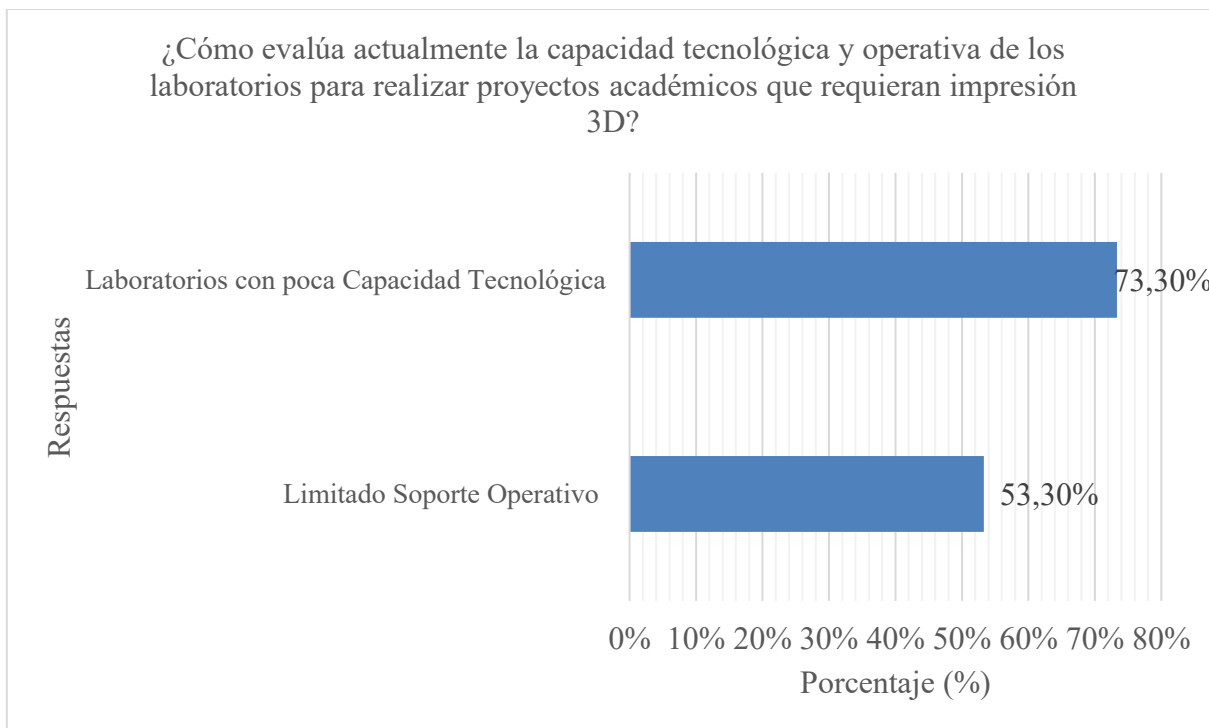
Figura 4. Limitaciones actuales



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

El análisis de las limitaciones sugiere que las barreras principales obedecen a factores estructurales y de capacidad instalada: ocho de cada diez participantes señalaron la restricción presupuestaria como el obstáculo dominante, lo que condiciona la adquisición de equipos, consumibles y repuestos, y limita la actualización tecnológica periódica. De forma complementaria, dos tercios indicaron la ausencia de equipos propios, situación que obliga a depender de terceros para tareas de prototipado y pruebas, con los consecuentes sobrecostos y tiempos de espera. A ello se suma una brecha de capacitación técnica (60%) que impide el uso autónomo y seguro de la tecnología disponible, lo cual, en conjunto, configura un entorno en el que la adopción interna de la impresión 3D resulta aspiracional pero todavía no plenamente habilitada.

Figura 5. Capacidad tecnológica de los laboratorios



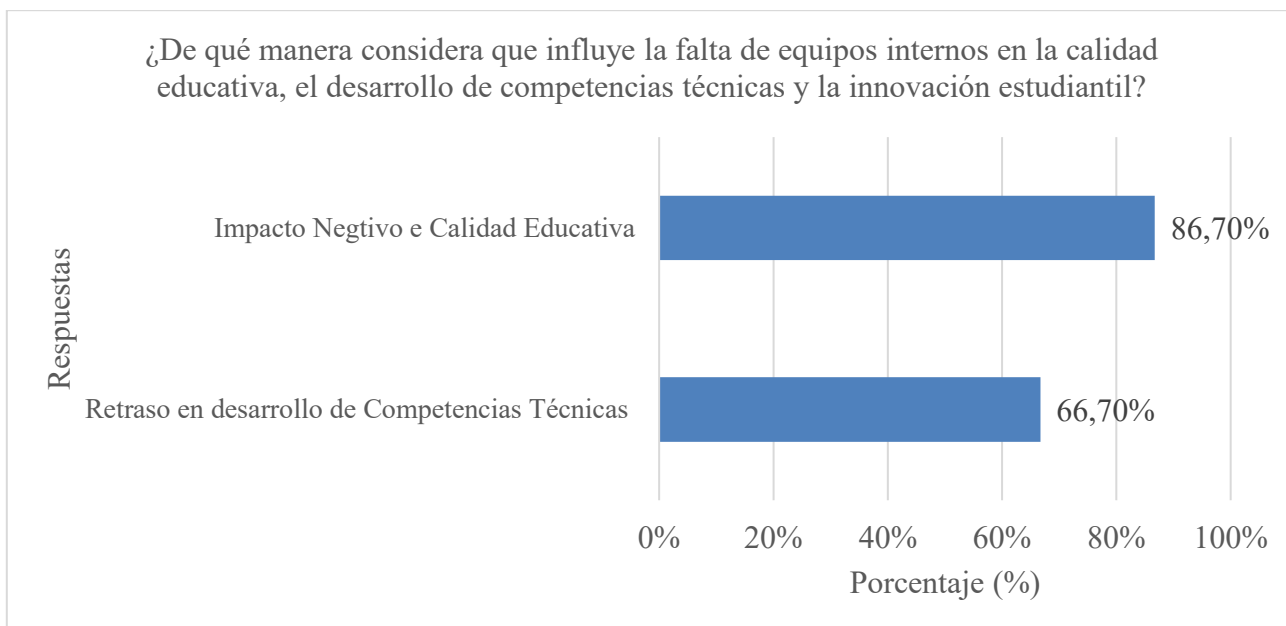
Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

Los datos de la encuesta muestran una brecha clara entre la demanda académica y la capacidad instalada para proyectos que requieren impresión 3D. La mayoría de las respuestas (73,3%) califica la capacidad tecnológica de los laboratorios como insuficiente, lo que se traduce en dificultad para sostener varios proyectos al mismo tiempo con resultados consistentes y tiempos de entrega controlados. Además, más de la mitad de la muestra (53,3%) percibe un soporte operativo limitado, lo cual suele reflejarse en problemas para programar mantenimiento preventivo, atender fallas con rapidez y asegurar continuidad sin interrupciones.

En la práctica, esta combinación tiende a generar cuellos de botella: menor disponibilidad real del equipo, aumento de tiempos de espera y poca fluidez para iterar prototipos, algo especialmente relevante en Ingeniería Electrónica, donde el aprendizaje suele

depender de ciclos repetidos de diseño–prueba–ajuste (por ejemplo, carcasas para placas, soportes de sensores, montajes para ensambles y adaptadores para bancos de prueba). Aunque la institución reporta infraestructura y recursos asociados —como la disponibilidad de impresoras 3D y escáner 3D en los laboratorios TEPS (UH, s.f.) y la existencia de un Laboratorio de Ingeniería 4.0 (UH, Laboratorio de Ingeniería 4.0, s.f.) orientado a entornos de industria y simulación de procesos —, la percepción recogida sugiere que esas capacidades todavía no se experimentan como suficientes o plenamente accesibles para cubrir la demanda académica actual, por lo que se vuelve necesario fortalecer tanto el componente tecnológico como el operativo para asegurar un servicio estable y aprovechable en proyectos formativo (UH, s.f.).

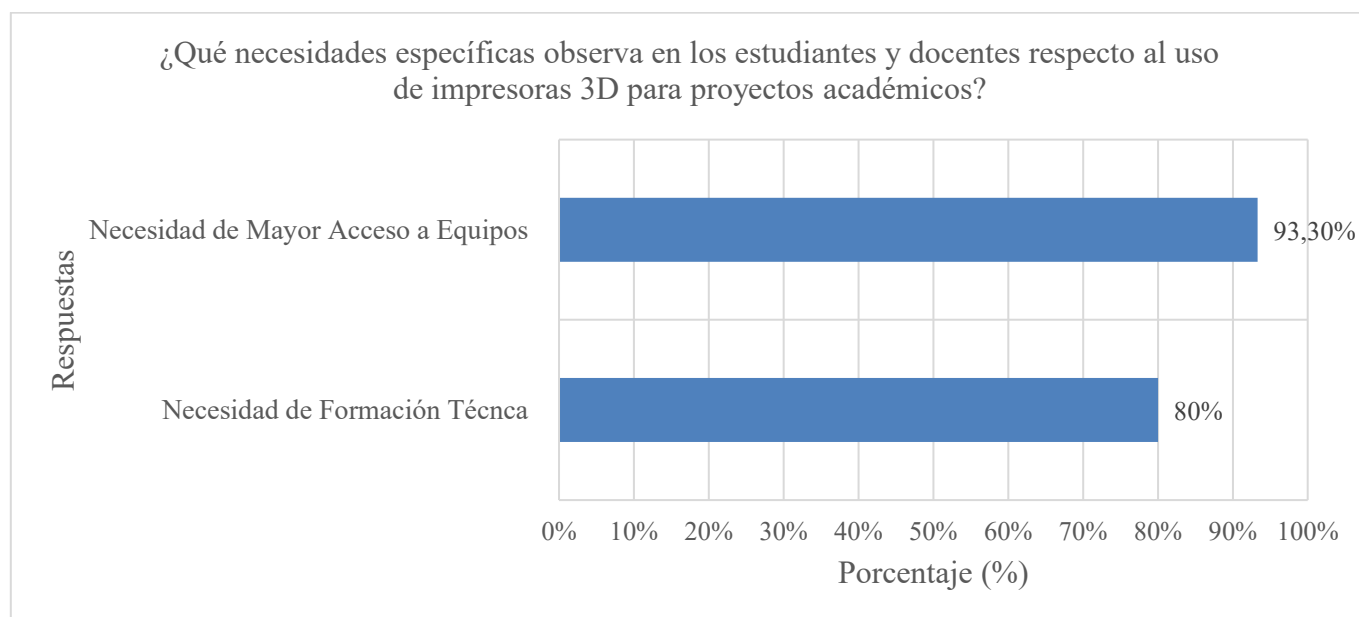
Figura 6. Impacto que genera la falta de equipamiento



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

Las consecuencias pedagógicas de la brecha de equipamiento son significativas: el 86.7% percibe impacto negativo en la calidad educativa, particularmente en la oportunidad de desarrollar proyectos con retroalimentación rápida, mientras que el 66.7% reporta retrasos en el desarrollo de competencias técnicas esenciales, como la preparación de materiales, la calibración de máquinas o la optimización de parámetros de impresión. Esta combinación afecta la progresión de habilidades prácticas y restringe la exposición de estudiantes y docentes a entornos de fabricación digital auténticos, reduciendo el valor agregado de la experiencia académica y la transferencia de conocimientos hacia situaciones reales.

Figura 7. Necesidades académicas específicas

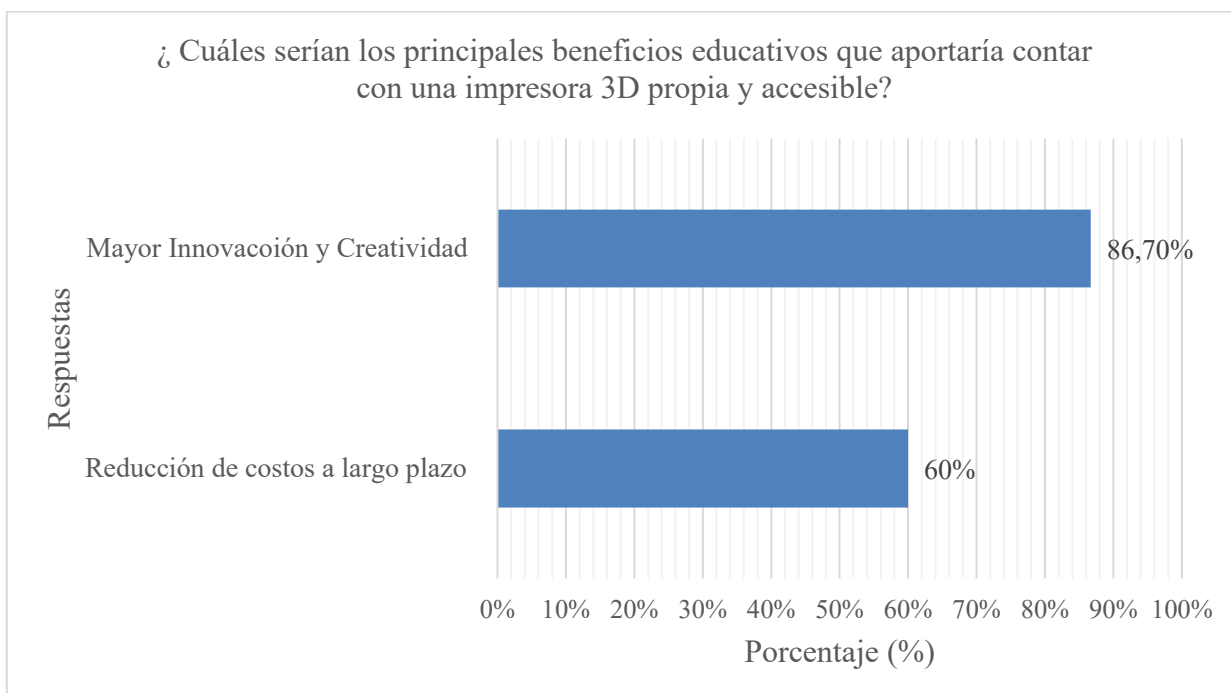


Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

Las necesidades priorizadas muestran consenso en torno a dos frentes: por un lado, el 93.3% considera esencial incrementar el acceso a equipos para asegurar disponibilidad oportuna y suficiente; por otro, el 80% demanda formación técnica estructurada que abarque

operación, buenas prácticas de seguridad, mantenimiento básico y solución de problemas comunes. La combinación de equipamiento y capacitación se perfila como condición habilitante para democratizar el uso de la impresión 3D en cursos y proyectos, mejorar la autonomía del usuario y sostener estándares de calidad en los entregables académicos.

Figura 8. Beneficios educativos

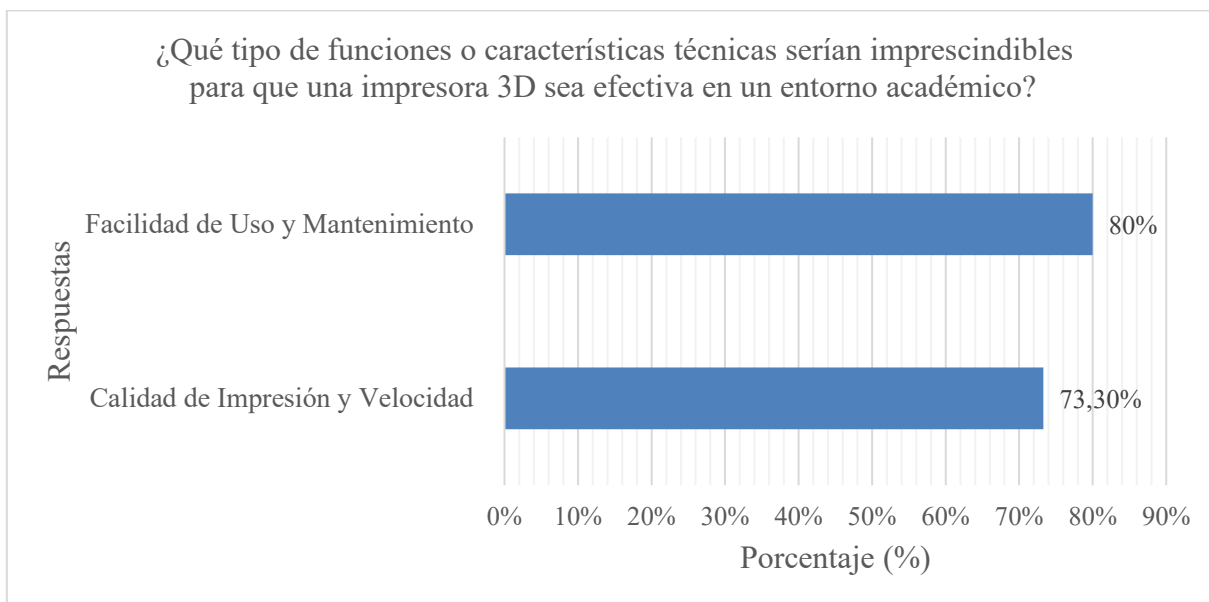


Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

La comunidad percibe la tecnología como palanca para innovación y creatividad (86.7%), permitiendo explorar soluciones personalizadas, iterar diseños y materializar conceptos complejos en prototipos funcionales. Paralelamente, el 60% reconoce la reducción de costos a largo plazo cuando se transita de servicios externos a capacidades internas, gracias al control de insumos, al uso continuo de la infraestructura y a la curva de aprendizaje organizacional. Esta proyección refuerza la conveniencia de tratar la impresión 3D no solo

como un recurso puntual, sino como capacidad instalada integrada a la planificación académica.

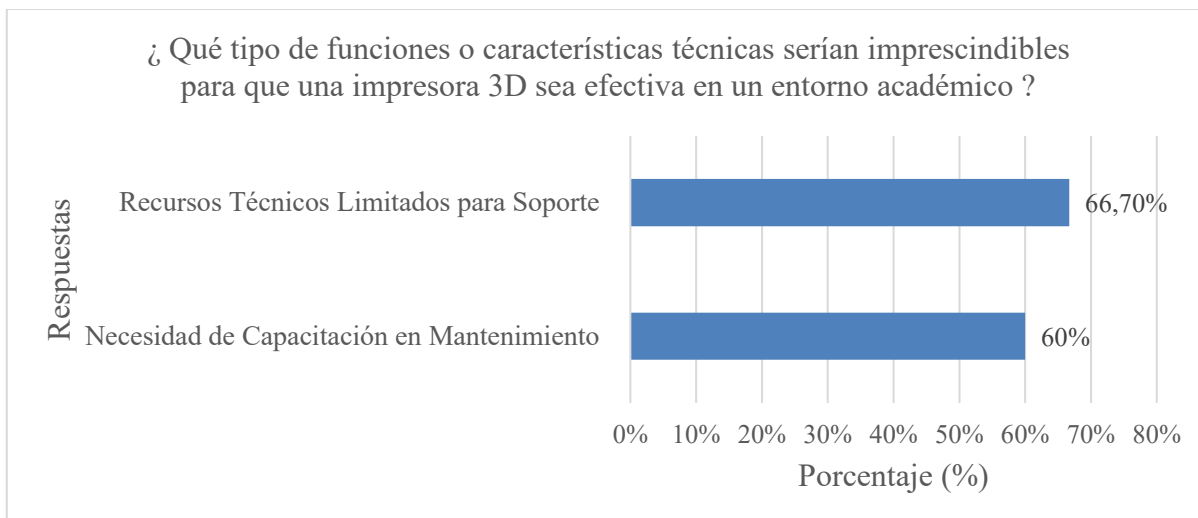
Figura 9. Características técnicas que debe poseer una impresora 3D



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

La especificación funcional deseada enfatiza la facilidad de uso y mantenimiento (80%) para reducir barreras de entrada, minimizar errores operativos y acortar el tiempo de entrenamiento. Asimismo, se valora la calidad y velocidad de impresión (73.3%) como atributos determinantes para cumplir exigencias de precisión dimensional, acabado superficial y productividad en contextos de alta demanda. En el entorno académico, estas características facilitan la estandarización de procedimientos, la reproducibilidad de resultados y la gestión eficiente del flujo de trabajo.

Figura 10. Disponibilidad de recursos técnicos internos para el soporte y mantenimiento



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

Los resultados de la encuesta ponen el foco en un punto que suele pasar desapercibido: para que una impresora 3D funcione bien en un entorno académico no basta con “tener el equipo”, también se necesita capacidad de soporte. En concreto, el 66,7% de las respuestas reporta limitaciones de recursos técnicos internos para sostener el soporte, y el 60% señala una necesidad directa de capacitación en mantenimiento. A nivel operativo, esto se asocia con más tiempo fuera de servicio, demoras por fallas recurrentes y menor continuidad para el trabajo por proyectos, especialmente cuando hay varios grupos utilizando la misma infraestructura.

A partir de ese diagnóstico, lo “imprescindible” para que una impresora 3D sea realmente efectiva en un entorno académico se puede entender en dos capas: características técnicas del equipo (para reducir errores y facilitar el mantenimiento) y condiciones de operación/gestión (para que el soporte no dependa de una sola persona).

Características técnicas que conviene priorizar (uso académico):

- Mantenibilidad y disponibilidad de repuestos: componentes modulares (hotend/boquilla, cama, extrusor), acceso sencillo a piezas de desgaste y repuestos fáciles de conseguir.
- Confiabilidad y reducción de fallos por uso intensivo: nivelación asistida, recuperación ante cortes de energía, sensor de fin de filamento y perfiles de impresión estables para distintos materiales.
- Gestión multiusuario y trazabilidad: conectividad de red, monitoreo remoto, bitácora de impresiones/errores y control básico de acceso para evitar configuraciones inconsistentes.
- Seguridad para operación continua: medidas de control acordes al material (ventilación/filtración cuando corresponda), controles de riesgo y prácticas seguras para reducir exposición a partículas/compuestos y eventos de sobrecalentamiento.

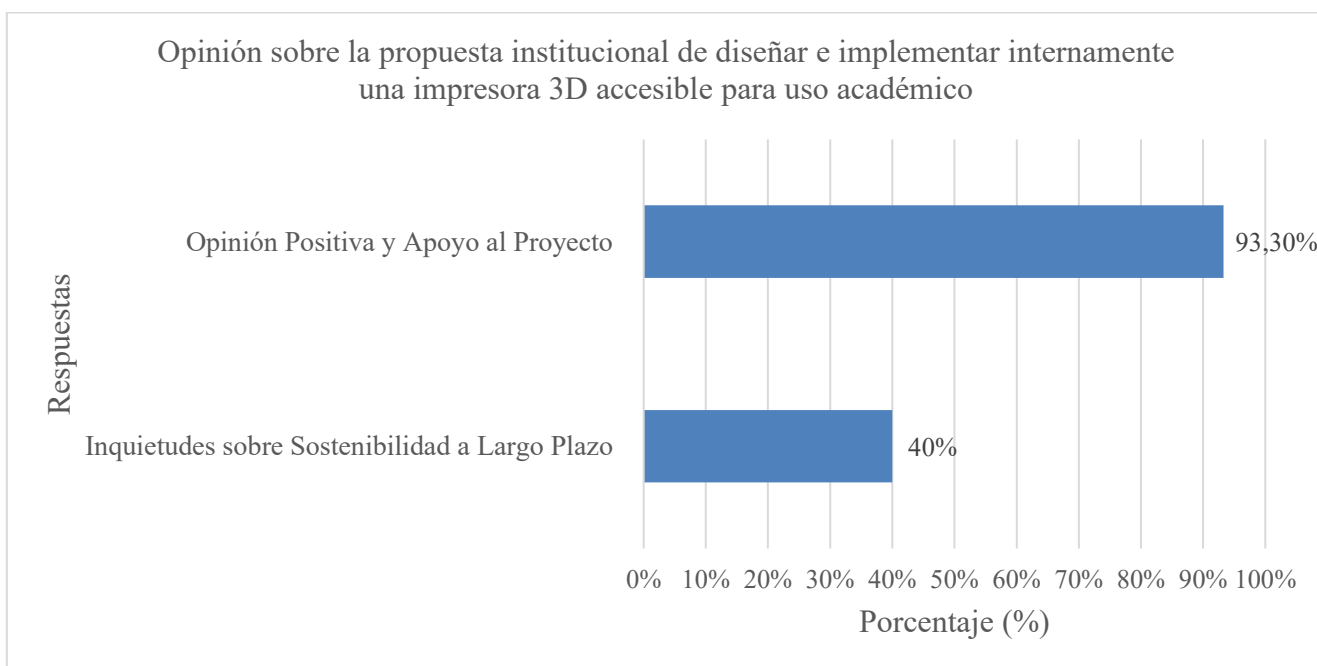
Condiciones operativas recomendadas (para sostener el servicio):

- Capacitación escalonada en tres niveles: operación básica (usuarios), mantenimiento preventivo (operadores) y diagnóstico/resolución de fallas (responsables técnicos).
- Controles administrativos claros: acceso condicionado a formación, uso de guías del fabricante, revisión de hojas de seguridad (SDS) cuando aplique, inspecciones y rutinas de orden/limpieza; este enfoque está alineado con programas universitarios de operación segura que formalizan entrenamiento y responsabilidades por rol.

- Gestión del “parque de equipos”: calendario de mantenimiento preventivo, inventario mínimo de repuestos críticos, registro de incidencias y seguimiento con indicadores (tiempo fuera de servicio, tasa de fallas, utilización del equipo).

Como referencia institucional, la UH reporta infraestructura con impresoras 3D y escáner 3D en los laboratorios TEPS, lo que refuerza que la discusión no es solo de existencia de equipo, sino de cómo se sostiene su operación con estándares consistentes (Uh, s.f.).

Figura 11. Opinión sobre la propuesta institucional

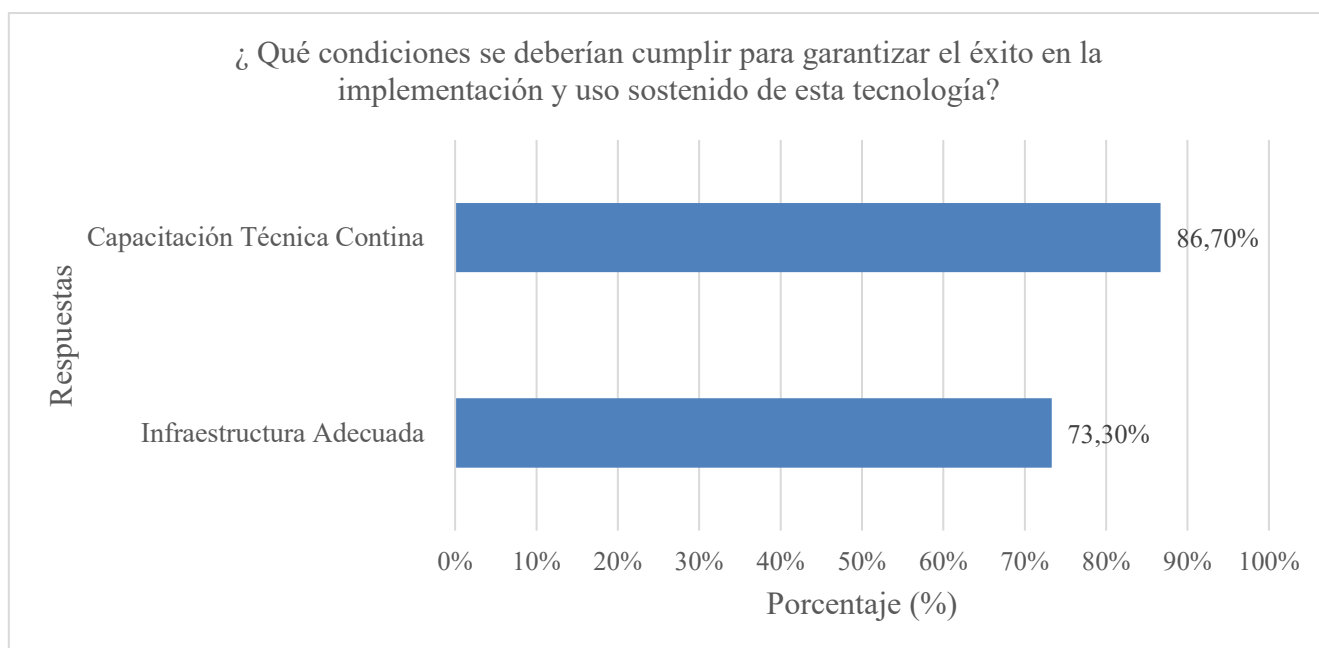


Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

La propuesta institucional de diseñar e implementar una impresora 3D accesible obtiene alto respaldo (93.3%), lo que anticipa condiciones favorables para su adopción. Sin embargo, el 40% manifiesta inquietudes sobre sostenibilidad, particularmente en lo relativo a la continuidad presupuestaria, reposición de repuestos y actualización de componentes. En

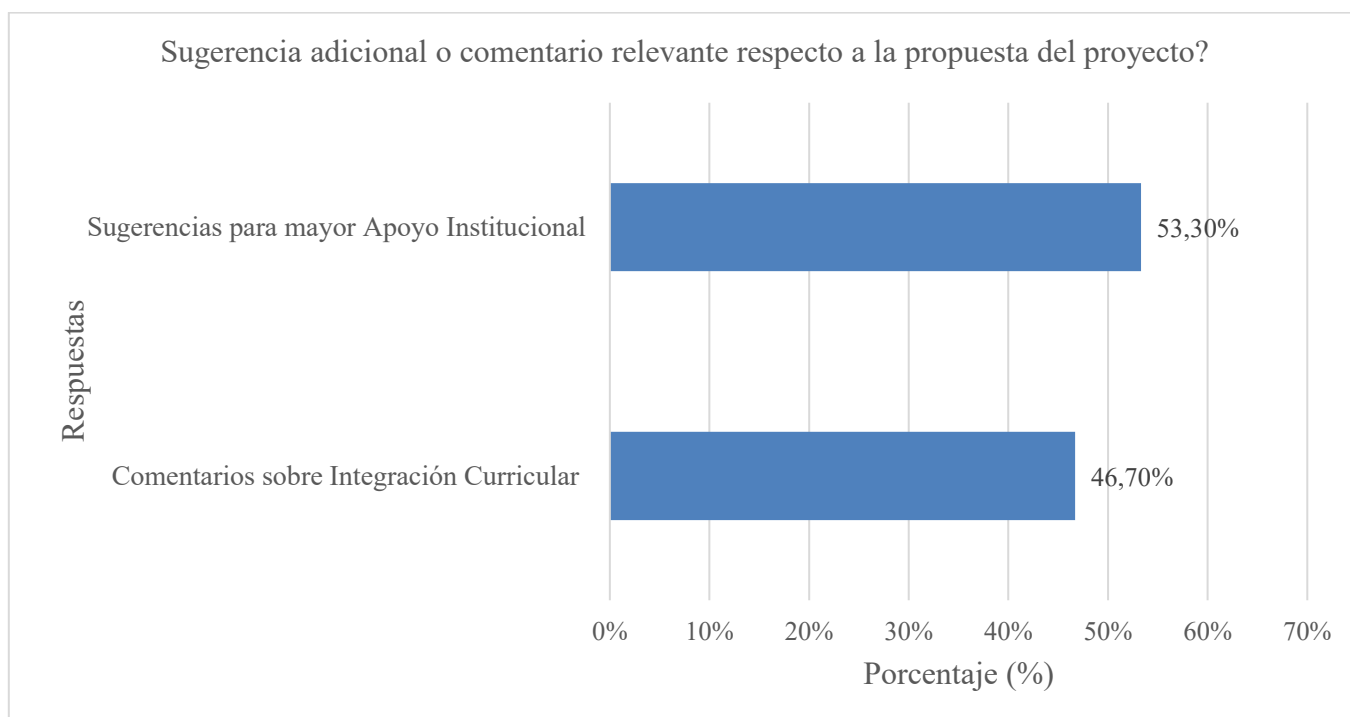
consecuencia, la gobernanza del proyecto debería contemplar un modelo de gestión con presupuesto anual, roles técnicos definidos y métricas de desempeño que orienten decisiones y aseguren su permanencia.

Figura 12. Implementación y uso sostenible de esta tecnología



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

Para una implementación sostenible se considera clave la capacitación continua (86.7%) y la infraestructura adecuada (73.3%), dos pilares que, gestionados en conjunto, elevan la madurez tecnológica institucional. La capacitación recurrente favorece la actualización de competencias y la estandarización de prácticas, mientras que la infraestructura —eléctrica, de red, espacios y seguridad— asegura condiciones operativas estables. La adopción de indicadores de seguimiento (tiempos de prototipado, porcentaje de incidencias, utilización de equipos, satisfacción de usuarios) contribuiría a la mejora continua.

Figura 13. Comentarios adicionales

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

Los comentarios abiertos refuerzan la necesidad de mayor apoyo institucional (53.3%) y de integración curricular (46.7%) para que la impresión 3D no sea un recurso aislado, sino parte de itinerarios formativos definidos. La formalización de su uso en planes de estudio facilitarían la planificación de cargas de trabajo, la asignación de ventanas de laboratorio y la articulación de proyectos interdisciplinarios con impacto tangible en la formación profesional.

En conjunto, los resultados describen una brecha tecnológica y de capacidades que limita la integración efectiva de la impresión 3D en los procesos formativos; no obstante, también evidencian un entorno propicio para su adopción si se ejecutan acciones estratégicas bien priorizadas. Desde una perspectiva de gestión académica, la combinación de equipamiento propio, formación técnica sistemática y soporte operativo estructurado

permitiría mejorar la calidad del aprendizaje práctico, reducir dependencias de terceros y optimizar los costos a mediano plazo. La literatura especializada coincide en que la capacitación y la infraestructura constituyen los determinantes de éxito más robustos en la incorporación de tecnologías emergentes en educación superior, lo que respalda las medidas propuestas (Blikstein, 2013; Creswell, 2014; Hernández Sampieri et al., 2014).

A la luz de la evidencia, se considera viable y pertinente la implementación de una impresora 3D desarrollada internamente, siempre que se establezcan mecanismos de sostenibilidad (presupuesto, reposición de insumos y repuestos, actualización tecnológica) y se adopten procesos formativos escalonados que habiliten a usuarios y equipo técnico para operar, mantener y mejorar la infraestructura. En ese escenario, la brecha actual se transforma en una oportunidad para consolidar capacidades institucionales, alinear prácticas con estándares educativos contemporáneos y promover un ecosistema de aprendizaje integral, práctico e innovador que incremente la autonomía tecnológica de la Universidad Hispanoamericana.

Capítulo V

Diseño y Desarrollo del Proyecto

El objetivo de este capítulo es convertir los hallazgos obtenidos en los Capítulos I–IV en una propuesta aplicable: el diseño, construcción, puesta en marcha y validación de un prototipo de impresora 3D FDM que sea accesible y modular. A partir del problema identificado, del marco teórico (accesibilidad, democratización tecnológica y enfoque centrado en el usuario) y de la metodología mixta utilizada, se sistematizan decisiones de ingeniería mecánicas, electrónicas y de control, junto con los procedimientos de ensamblaje, pruebas funcionales y criterios de sostenibilidad técnica–económica. El propósito es evidenciar la viabilidad técnica y pedagógica del prototipo, en coherencia con los objetivos específicos y con variables de evaluación previamente definidas: precisión, estabilidad, costo–beneficio, usabilidad y replicabilidad.

Estructura del capítulo:

1. **Aspectos de diseño:** requerimientos, especificaciones, arquitectura, criterios de seguridad, modularidad y mantenibilidad.
2. **Construcción del prototipo:** ensamblaje e integración por subsistemas, incluyendo calibración inicial.
3. **Implementación y validación:** puesta en marcha, protocolo de pruebas, resultados y ajustes.
4. **Análisis de costos:** inversión total, comparación con alternativas comerciales y lectura costo–beneficio.
5. **Condiciones de funcionamiento:** parámetros operativos, prácticas de seguridad, mantenimiento preventivo e infraestructura mínima.

5.1 Aspectos de Diseño

Este apartado reúne los criterios de ingeniería que sustentan el diseño de una impresora 3D FDM orientada a uso educativo-personal. La propuesta integra, de forma consistente, la estructura, el sistema de movimiento, el módulo de extrusión y control térmico, la electrónica de control y la interfaz de usuario, priorizando precisión y confiabilidad sin elevar innecesariamente la complejidad de mantenimiento.

A diferencia de enfoques basados en controladoras de 32 bits, el prototipo se apoya en una plataforma ampliamente disponible y documentada: Arduino Mega 2560 (ATmega2560, 16 MHz) y el shield RAMPS 1.4, que permite una arquitectura modular con drivers enchufables y reemplazables por unidad (RepRAP, Arduino Mega Pololu Shield, s.f.) . Este criterio busca facilitar la replicabilidad y el soporte dentro de un entorno académico, donde es clave que los componentes sean accesibles y que el mantenimiento sea didácticamente abordable.

Desde el punto de vista técnico, la calidad de impresión en FDM depende de condiciones como rigidez estructural, estabilidad térmica y control de parámetros de proceso (temperatura, velocidad, altura de capa, etc.), los cuales inciden directamente en precisión dimensional y repetibilidad (Ahmad, N. N, Wong, Y. H, & Ghazali, N. N. N, 2022). Por ello, el diseño prioriza soluciones mecánicas y térmicas sencillas pero robustas, complementadas con protocolos de calibración y control de calidad.

5.1.1 Propósito y principios de diseño

Los hallazgos del estudio (capítulos anteriores) apuntan a una necesidad concreta: contar con una solución propia que reduzca cuellos de botella y permita prototipado iterativo

con continuidad operativa. Bajo esa realidad, el diseño se conduce con tres criterios dominantes:

1. **Sostenibilidad técnica y económica:** se prioriza una arquitectura con repuestos comunes y documentación pública, y se incorpora reutilización de estructura y herrajes para reducir inversión inicial sin sacrificar funcionalidad.
2. **Mantenibilidad académica:** el sistema debe poder ser entendido, diagnosticado y reparado por estudiantes (especialmente de Ingeniería Electrónica) mediante módulos intercambiables (drivers, hotend, sensores, pantalla).
3. **Operación segura y estable:** el diseño considera control térmico, protecciones del firmware y condiciones mínimas del entorno (ventilación y prácticas de seguridad en impresión 3D).

5.1.2 Arquitectura general del sistema

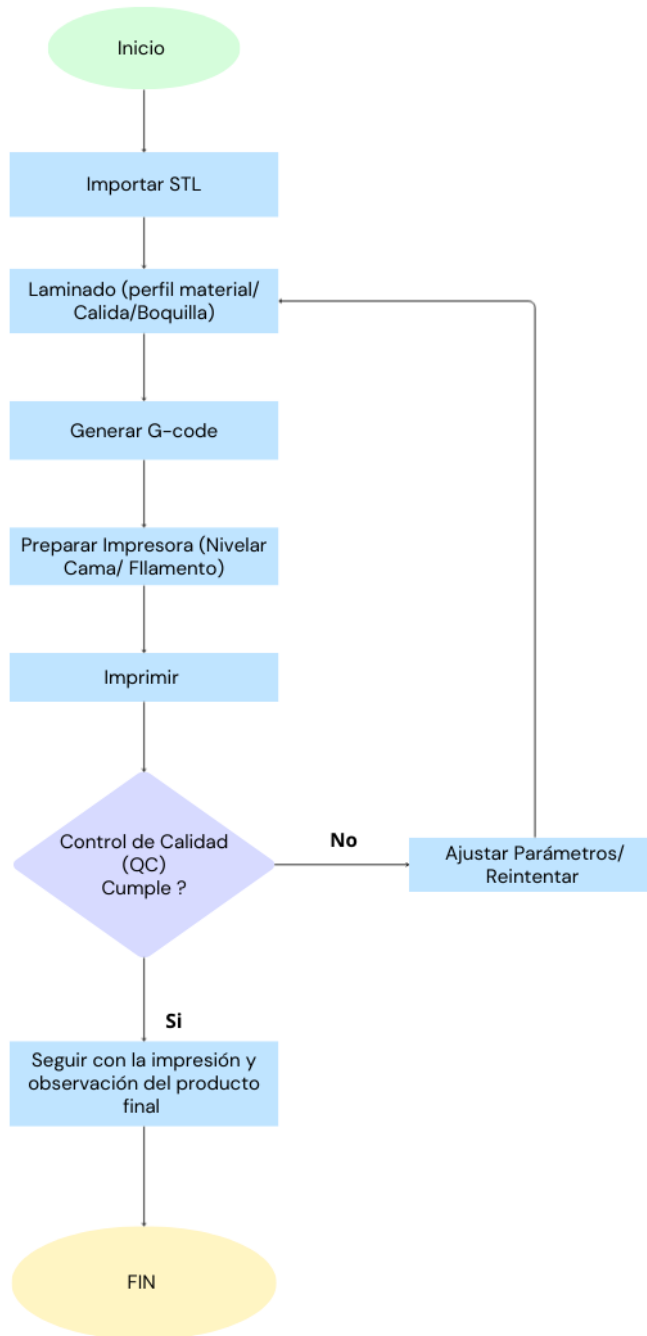
La impresora se concibe como un sistema mecatrónico compuesto por cinco subsistemas que convierten un modelo CAD en un objeto físico mediante deposición capa a capa:

1. **Mecánico-estructural:** bastidor en perfiles de aluminio y elementos de guiado que favorecen alineación y estabilidad.
2. **Movimiento:** correas GT2 en X/Y y husillo T8 × 400 mm con tuerca en Z, para desplazamientos repetibles y controlables.
3. **Extrusión y gestión térmica:** hotend con boquilla 0,4 mm y calefacción de 24 V / 40 W, con rutinas de ajuste para mantener temperatura estable.

4. **Control electrónico:** Arduino Mega 2560 + RAMPS 1.4 con drivers A4988 y sensores de fin de carrera.
5. **Interfaz usuario-máquina:** pantalla LCD compatible para operación local.

En coherencia con la arquitectura planteada, la Figura 14 sintetiza el flujo operativo de una impresión FDM: Inicio → Importar STL → Laminado (perfil de material, calidad y boquilla) → Generar G-code → Preparar la impresora (nivelación de cama y verificación de filamento) → Imprimir → Control de calidad (QC) → decisión (No: ajustar parámetros y reintentar / Sí: continuar con la impresión y registrar observaciones) → Fin.

Figura 14.Diagrama de flujo del nuevo proceso de impresión 3D (FDM).



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

Como complemento, el diagrama funciona como guía operativa y lista de verificación: delimita entradas y salidas en cada etapa, explicita los puntos de control (validación del modelo y QC) y establece el bucle de ajuste cuando el resultado no cumple. Con ello, se reducen retrabajos, se homogeneiza la preparación de la máquina y se facilita la trazabilidad al registrar parámetros y observaciones. Además, su estructura es lo suficientemente flexible para incorporar nuevos perfiles de material o mejoras de hardware sin alterar la lógica general del proceso.

5.1.3 Señales de entrada/salida y conversión de datos

Desde la perspectiva de Ingeniería Electrónica, el valor del diseño aumenta cuando el sistema se traduce a una matriz de entradas/salidas y se justifica la instrumentación. Las entradas se asocian a sensado y seguridad (finales de carrera, temperatura, paro de emergencia opcional), mientras que las salidas corresponden a actuación (STEP/DIR hacia drivers, conmutación de calefactores, ventilación y señales de interfaz).

Tabla 6. Matriz de señales de entrada/salida del prototipo (I/O) y propósito funcional

Grupo	Señal	Tipo	Conector típico en RAMPS	Propósito
Entradas	X_MIN, Y_MIN, Z_MIN	Digital	Headers ENDSTOP	Referencia para homing y límites de recorrido

Entradas	TEMP_0 (hotend)	Analógica (ADC)	T0	Realimentación para control térmico del hotend
Entradas	TEMP_BED (cama)	Analógica (ADC)	TBED	Realimentación para control térmico de cama
Entradas	E-STOP	Digital	Entrada libre / header asignado	Paro seguro independiente del flujo normal
Salidas	X/Y/Z STEP- DIR-EN	Digital	Zócalos de drivers	Movimiento coordinado por ejes
Salidas	E0 STEP-DIR- EN	Digital	Zócalo driver extrusor	Alimentación de filamento/extrusión
Salidas	HEATER_0	Potencia conmutada	D10	Calentamiento del hotend
Salidas	HEATER_BED	Potencia conmutada	D8	Calentamiento de la cama
Salidas	FAN	PWM / digital	D9	Ventilación de pieza o hotend
Salidas	LCD (EXP1/EXP2)	Digital	EXP1/EXP2	Operación local mediante encoder/menús

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

5.1.4 Interacción electrónica y vía software: flujo de datos y control

La operación se entiende como una cadena de transformación de información: el modelo CAD se exporta en STL, se procesa en un laminador (slicer) que genera G-code con trayectorias, temperaturas y acciones del proceso. Ese archivo se entrega al firmware (Marlin) mediante tarjeta SD o comunicación host.

Marlin interpreta el G-code y lo convierte en acciones físicas mediante: (i) planificación de movimiento, (ii) generación temporizada de pulsos STEP/DIR y (iii) control térmico en lazo cerrado. Por ejemplo, los comandos G0/G1 se traducen a movimientos lineales planificados con aceleraciones y velocidades; el hotend y la cama (si aplica) se controlan con estrategias como PID, y se dispone de rutinas de autotune (M303) para estabilizar la respuesta térmica (Marlin Firmware, s. f.).

En operación también se integran comandos de precalentamiento como M104/M109 (hotend) y M140/M190 (cama), además de salvaguardas térmicas como MINTEMP/MAXTEMP y “thermal runaway”, que detienen el sistema ante lecturas inválidas o desviaciones peligrosas (Marlin Firmware, s. f.).

En síntesis, el G-code se transforma en:

- trenes de pulsos STEP/DIR para movimiento,
- conmutación/PWM para heaters y ventilación, y

- lecturas ADC/digitales para termistores y endstops, cerrando el ciclo de control y supervisión del proceso (Marlin Firmware, s. f.).

5.1.5 Selección de tecnología de automatización

Aunque se considera la posibilidad de PLC u otras plataformas, el diseño converge en microcontrolador por exigencias típicas del proceso FDM: generación de pulsos multieje con temporización, control térmico en lazo cerrado y compatibilidad con firmware open-source maduro. Se selecciona Arduino Mega 2560 + RAMPS 1.4 por disponibilidad, documentación y modularidad por drivers intercambiables (RepRap, s. f.).

Como referencia comparativa, se incluye la Tabla 6 (microcontrolador vs PLC vs 32-bits), y se deja registrada la alternativa de 32 bits como ruta de escalamiento por desempeño y conectividad. El PLC se documenta como referencia industrial, reconociendo que no es la opción más directa para ecosistemas FDM sin integración adicional.

A modo de comparación técnica, se contrasta:

Tabla 7. Comparación de tecnologías de control para FDM

Variable exigida	Microcontrolador (Arduino Mega 2560 + RAMPS 1.4)	PLC compacto (Micro810 u homólogo)	32-bits (Duet 2 u homóloga)
Rendimiento (memoria/procesamiento)	ATmega2560 8-bit, 16 MHz; recursos adecuados para Marlin clásico (Arduino,	CPU PLC con recursos orientados a control industrial; memoria/ejecución	MCU 32-bit (ARM), mayor margen para cinemática,

Variable exigida	Microcontrolador (Arduino Mega 2560 + RAMPS 1.4)	PLC compacto (Micro810 u homólogo)	32-bits (Duet 2 u homóloga)
	Arduino Mega 2560 Rev3 datasheet (A000067), 2026).	determinística para lógica y E/S.	aceleraciones, red y UI avanzada.
Puertos digitales/analógicos	Alta disponibilidad: múltiples digitales y analógicos (útil para sensores) (Arduino, Arduino Mega 2560 Rev3 datasheet (A000067), 2026).	I/O integradas según modelo; expansión con módulos.	I/O orientadas a impresión (endstops, heaters, fans) + expansiones (Duet3D Documentation).
PWM y funciones específicas	PWM disponible; control heaters/fans; timers limitados.	PWM depende del modelo; excelente para salidas industriales, menos “nativo” para step/dir multieje de alta tasa.	PWM y control de movimiento de alto desempeño; funciones específicas de impresión (Duet3D Documentation).

Variable exigida	Microcontrolador (Arduino Mega 2560 + RAMPS 1.4)	PLC compacto (Micro810 u homólogo)	32-bits (Duet 2 u homóloga)
Protocolos (I2C/SPI/UART/otros)	I2C/SPI/UART disponibles y comunes en educación (NIOSH, 2023).	Protocolos industriales (según PLC); integración OT/IT más típica.	Ethernet/Wi-Fi y buses para expansiones; fuerte para monitoreo remoto (Duet3D Documentation).
Ambientes ruidosos (EMI)	Requiere buenas prácticas: tierras, rutas, separación potencia/señal, ferritas si aplica.	Diseñado para industria; mejor inmunidad y certificaciones.	Adecuado para entornos maker/lab; requiere buenas prácticas EMI.
Requerimiento técnico institucional	Alta disponibilidad local y documentación; apropiado para soporte interno y aprendizaje.	Alinea con estándares industriales si la institución opera PLC en otros cursos.	Excelente desempeño, pero mayor costo y curva de soporte.

Variable exigida	Microcontrolador (Arduino Mega 2560 + RAMPS 1.4)	PLC compacto (Micro810 u homólogo)	32-bits (Duet 2 u homóloga)
Nivel de integración de la propuesta	Alto para costo bajo; modular por drivers enchufables (RepRAP, RAMPS 24v).	Alto en robustez industrial; menos directo para imprimir sin ecosistema FDM.	Muy alto: firmware/UI/red integrados (Duet3D Documentation).
Costo/replicabilidad	Muy favorable; repuestos abundantes.	Mayor costo por equipo y licencias/software; repuestos industriales.	Mayor costo; excelente performance; repuestos más especializados.

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

Se selecciona Arduino Mega 2560 como núcleo de control y RAMPS 1.4 como plataforma de potencia/expansión, porque favorece replicabilidad, disponibilidad de repuestos y alineación con firmware conocido (Marlin) (Arduino, Arduino Mega 2560 Rev3 datasheet (A000067), 2026).

La elección se vuelve más consistente al existir reutilización mecánica y al buscar una solución mantenible en un laboratorio universitario. No obstante, se documenta la alternativa 32-bits como escalamiento futuro, y PLC como referencia industrial.

5.1.6 Componentes del prototipo e integración por subsistemas

El prototipo se implementa con componentes de control, movimiento y térmica, integrados de forma modular:

1) Control y electrónica

- Arduino Mega 2560 R3
- RAMPS 1.4
- Drivers A4988
- Endstops
- LCD/HMI compatible

2) Movimiento

- Motores NEMA 23 JK57HS76-2804 (1,8°)
- Correa GT2 6 mm
- Husillo T8 × 400 mm con tuerca de bronce

3) Extrusión / térmico / plataforma

- Hotend con boquilla 0,4 mm
- Heater 24 V / 40 W (tipo Ender 3)
- Cama caliente 24 VDC + vidrio templado
- Filamento PLA 1,75 mm

Nota : el uso de NEMA 23 puede elevar la demanda de corriente; por ello, los A4988 requieren ajuste conservador de VREF, disipación y ventilación adecuada, para evitar sobretensión y pérdida de pasos (Pololu, s. f.).

5.1.7 Reutilización de componentes

Como decisión de sostenibilidad económica, el prototipo incorpora componentes reutilizados provenientes de otra impresora. Esta estrategia reduce el costo del bastidor y del sistema de fijación, y permite concentrar presupuesto en subsistemas críticos (electrónica, control, extrusión y consumibles). La reutilización se limita a estructura y herrajes, siempre que se controlen variables mecánicas críticas: escuadra del bastidor, paralelismo, holguras, estado de roscas y alineación del eje Z.

Componentes reutilizados (estructura, eje Z y herrajes):

- Base/Y de impresora
- Bloque pasivo de eje Z
- Perfil eje Z (derecho)
- Perfil eje Z (izquierdo) 2020
- Perfil soporte superior 2020
- Perfil eje X 2020
- Varilla/husillo T8 con tuerca
- Tornillería: M5×8, M4×20, M4×16 con arandelas, M5×45 con arandelas, M4×18, M5×25 con arandelas
- Tuercas T M5 (perfil 2020)

5.1.8 Cálculos de dimensionamiento y parámetros de movimiento

Para sustentar la configuración del firmware, se documenta el cálculo de resolución cinemática (steps/mm) y verificaciones de par. En X/Y (GT2, 20 dientes), el avance por vuelta es 40 mm; con 200 pasos/vuelta y microstepping 1/16, el resultado es 80 steps/mm. En Z (T8 con *lead* típico 8 mm/vuelta), el resultado es 400 steps/mm. Estos valores permiten una primera aproximación consistente para calibración y validación.

a. Resolución cinemática (steps/mm)

1) Steps/mm en X/Y (GT2, polea 20 dientes):

- Avance por vuelta = $\text{pitch} \times \text{dientes} = 2 \text{ mm} \times 20 = 40 \text{ mm/vuelta}$
- $\text{steps/mm} = (200 \text{ steps/vuelta} \times 16) / 40 = 80 \text{ steps/mm}$

2) Steps/mm en Z (T8 lead típico 8 mm/vuelta):

- $\text{steps/mm} = (200 \times 16) / 8 = 400 \text{ steps/mm}$

b. Par requerido en X/Y (correa GT2)

Radio efectivo polea:

$$r = \frac{\text{pitch} \cdot \text{dientes}}{2\pi} = \frac{0.002 \cdot 20}{2\pi} \approx 0.00637 \text{ m}$$

Fuerza requerida (ejemplo Y):

$$F = ma + F_{fric} = 2.5(1.5) + 2 \approx 5.75 \text{ N}$$

Par:

$$T = F \cdot r \approx 5.75(0.00637) = 0.0366 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Aplicando factor de seguridad 3:

$$T_{diseño} \approx 0.11 N \cdot m$$

c. Par requerido en Z (husillo T8)

Para elevar ~ 3 kg (gantry), con eficiencia conservadora $\eta \approx 0.35$:

$$F = mg = 3(9.81) = 29.4 N$$

$$T = \frac{F \cdot lead}{2\pi\eta} = \frac{29.4 \cdot 0.008}{2\pi \cdot 0.35} \approx 0.107 N \cdot m$$

Con factor de seguridad 2:

$$T_{diseño} \approx 0.214 N \cdot m$$

d. Justificación práctica del NEMA con A4988

El motor Mena ofrece alto par nominal (según ficha técnica).

Aunque el A4988 limita la corriente útil (dependiente de disipación y ajuste), su documentación establece control por V_{ref} y recomienda medidas térmicas.

En términos de consistencia de diseño: aun si el motor operara a corriente reducida, el par disponible puede exceder ampliamente el par *calculado* ($\sim 0.11 N \cdot m$ en XY y $\sim 0.214 N \cdot m$ en Z), reduciendo riesgo de pérdida de pasos y aportando robustez en un entorno con uso multiusuario.

e. Verificación de margen de correa GT2

La carga diferencial estimada en la correa para el caso Y se aproxima como:

$$\Delta F \approx T/r \approx 0.0366/0.00637 \approx 5.7 N$$

La correa GT2 6 mm posee resistencias típicas muy superiores a ese orden de magnitud (según fichas comerciales), por lo que el diseño queda con margen amplio ante aceleraciones moderadas.

f. Verificación estructural (deflexión aproximada del perfil 2020)

Con valores típicos de inercia del perfil 2020 reportados por fabricantes, la deflexión de un tramo de ~0.4–0.5 m bajo carga centrada moderada resulta del orden de décimas a centésimas de milímetro, lo cual es compatible con una impresora educativa **si** se cuida el escuadrado, aprietes y se minimizan holguras.

5.2 Construcción del Prototipo

Con base en los componentes integrados —Arduino Mega 2560 R3, RAMPS 1.4, drivers A4988, motores NEMA 23, hotend con boquilla de 0,4 mm, cama de vidrio templado tipo Ender 3, endstops, husillo T8×400, correa GT2, LCD/HMI y accesorios de montaje— el prototipo se concibe y desarrolla como un sistema mecatrónico orientado al control integral del proceso de impresión por extrusión de material (FDM/FFF), dentro del marco de la fabricación aditiva por deposición de material capa a capa (ISO/ASTM 52900:2021).

La arquitectura integra tres funciones principales: (1) control de movimiento (ejes X–Y–Z y extrusión), (2) control térmico (hotend y, según configuración, cama calefactada) y (3) supervisión/operación mediante interfaz HMI, de modo que la secuencia de impresión pueda ejecutarse desde la referencia inicial (homing) hasta la ejecución de trayectorias programadas (Thinkyhead, 2026).

En este enfoque, el Arduino Mega 2560 R3 opera como unidad central de control, al ejecutar el firmware y coordinar entradas/salidas del sistema (lectura de sensores,

temporización y control de actuadores). La tarjeta RAMPS 1.4 se emplea como plataforma de interconexión y distribución de señales/potencia, facilitando la integración de los drivers, motores, sensores de fin de carrera y elementos térmicos del sistema (Arduino, Arduino Mega 2560 Rev3 datasheet (A000067), 2026).

El control de los motores paso a paso se implementa mediante drivers A4988, los cuales integran un traductor para microstepping y un regulador de corriente, permitiendo modular el movimiento con mayor suavidad y repetibilidad. Los endstops aportan la referencia eléctrica de fin de carrera para el proceso de homing y para condiciones de seguridad de recorrido, apoyando la calibración y reduciendo el riesgo de colisiones mecánicas durante la operación.

En el subsistema mecánico, la transmisión por correa dentada tipo GT2 se utiliza principalmente para desplazamientos lineales rápidos (típicamente en X/Y), mientras que el husillo trapezoidal (T8×400) se orienta a desplazamientos donde se prioriza estabilidad y precisión de posicionamiento (típicamente en Z).

El subsistema de extrusión se centra en un hotend con boquilla estándar de 0,4 mm (diámetro común en impresión por filamento para balancear detalle y caudal), y la cama de vidrio templado tipo Ender 3 se incorpora como superficie de impresión por su facilidad de limpieza y reposición. La pantalla LCD/HMI se integra como medio de operación local, compatible con controladores gráficos comunes (p. ej., 128×64 con encoder/SD), permitiendo monitorear variables relevantes y ejecutar acciones básicas sin depender de un equipo externo (E3D, 2025).

En conjunto, el prototipo se valida como una solución modular y mantenible, al emplear componentes ampliamente disponibles, separar funciones por subsistemas (control, potencia, movimiento, sensado e interfaz) y permitir reemplazos o ajustes puntuales sin rediseñar la plataforma completa.

5.2.1 Enfoque de integración (hardware y software)

El desarrollo se plantea como un sistema mecatrónico integrado orientado al control del proceso FDM/FFF. No se atribuye autoría sobre componentes comerciales (hotend, cama, LCD, etc.); estos se tratan como componentes COTS seleccionados por compatibilidad, disponibilidad y facilidad de reemplazo. El aporte del proyecto se concentra en:

- criterios de selección y sobredimensionamiento (cuando aplica),
- dimensionamiento y verificación (cinemática, torque, potencia),
- arquitectura eléctrica y buenas prácticas (cableado, separación señal/potencia, sujeción),
- configuración del firmware (Marlin sobre Arduino Mega) y evidencia de ejecución,
- validación metrológica y funcional con protocolos replicables.

5.2.2 Componentes principales integrados y componentes reutilizados

Para controlar el costo total y concentrar presupuesto en elementos que determinan desempeño, el prototipo se implementa con dos grupos de componentes.

Tabla 8. Componentes principales integrados (adquiridos / instalados)

Arduino Mega 2560 R3: microcontrolador ATmega2560, con memoria no volátil y	Vidrio templado tipo Ender 3 (superficie de impresión)
--	---

RAM suficientes para firmware de control de movimiento y térmica.	
RAMPS 1.4 (shield tipo Pololu para Mega): distribución modular de potencia y señales, con zócalos para drivers.	3 motores NEMA 23 JK57HS76-2804 (1,8°)
Drivers A4988 (módulos enchufables): microstepping hasta 1/16 y regulación de corriente por referencia VREF.	Endstops (finales de carrera) compatibles con RAMPS 1.4
Hotend / heater block con boquilla 0,4 mm	Correa dentada GT2 (6 mm)
Kit extrusor tipo Ender 3, 24 V – 40 W	Conector neumático (Pneumatic fitting) para tubo PTFE/Bowden (si aplica)
Pantalla LCD/HMI compatible	Husillo T8 × 400 mm con tuerca de bronce
Filamento PLA 1,75 mm (1 kg)	ER11 Collet Chuck Holder (accesorio de adaptación/montaje)

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025).

Tabla 9. Componentes reutilizados de otra impresora (estructura y herrajes)

Componente base de impresora (base/Y)	Perfil de soporte superior 2020
Bloque pasivo de eje Z	Perfil de eje X 2020
Perfil de eje Z (derecho)	Varilla tipo T (husillo T8 con tuerca)
Perfil de eje Z (izquierdo) 2020	Tornillos M5×8
Tornillos M4×16 con arandelas	Tornillos M4×20
Tornillos M5×45 con arandelas	Tornillos M4×18
Tuercas T M5 (para perfil 2020)	Tornillos M5×25 con arandelas

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025).

La reutilización se restringe a elementos de estructura y fijación, porque tienden a representar un costo acumulado relevante si se adquieren nuevos (perfilería 2020, base, soportes y tornillería). En términos de ingeniería, esta estrategia es aceptable si se controlan variables mecánicas críticas: escuadra del bastidor, paralelismo, holguras, estado de roscas y alineación del eje Z. El resultado es un prototipo con menor inversión inicial y con mayor viabilidad de réplica en ambientes donde ya existen equipos fuera de servicio que pueden convertirse en “bancos de repuestos”.

5.2.3 Integración y adaptación de una plataforma cartesiana reutilizada (base tipo Ender-3)

En esta etapa, el desarrollo no se plantea como diseño original de cada componente mecánico, sino como la ingeniería de integración de una plataforma FDM cartesiana reutilizada y complementada con electrónica abierta. Los subconjuntos comerciales se mantienen como referencia visual de lo seleccionado, pero la justificación técnica se limita a lo necesario para integración y verificación (potencia, límites térmicos, interfaz eléctrica y efectos en precisión/repetibilidad). Con ello, se evita describir “cómo funciona” un componente ya resuelto por el fabricante y se fortalece el aporte de ingeniería propio del estudiante: decisiones, cálculos, cableado, configuración de firmware y validación.

Seguidamente, se describe cada subsistema y su aporte dentro del conjunto (Arduino Mega 2560 R3, RAMPS 1.4, drivers A4988, motores, control térmico, endstops, transmisión GT2/T8 y LCD/HMI), destacando de qué manera las decisiones de configuración, cableado y montaje influyen directamente en la confiabilidad y repetibilidad durante la operación. Finalmente, se presenta la evidencia del prototipo —mediante registro visual y documentación de ensamble— con el propósito de respaldar la implementación física, la trazabilidad de conexiones y los resultados observables obtenidos durante las pruebas.

5.2.3.2 Arduino Mega 2560 R3 (ATmega2560)

El prototipo emplea el Arduino Mega 2560 R3 como unidad de control porque permite implementar, con un nivel de complejidad razonable, el conjunto de funciones necesarias para una impresora FDM basada en RAMPS: generación de señales de paso y dirección para los ejes, lectura de finales de carrera, adquisición del sensor térmico del hotend y comunicación con la interfaz de usuario.

La selección no se justifica únicamente por “tener muchos pines”, sino por la capacidad de integrar varias tareas simultáneas sin recurrir a electrónica adicional: el sistema necesita controlar motores, vigilar entradas de seguridad y sostener un lazo de control térmico mientras mantiene una operación coherente desde el firmware. En un prototipo académico, además, resulta relevante apoyarse en un ecosistema probado (por ejemplo, configuraciones típicas con Marlin para Mega/RAMPS), porque reduce el riesgo de integración y permite concentrar el trabajo en la validación del sistema completo.

El prototipo adopta el Arduino Mega 2560 Rev3 como unidad de control porque, a nivel de integración, ofrece un balance práctico entre capacidad de hardware, disponibilidad y compatibilidad con electrónica tipo RAMPS. En primer lugar, su cantidad de entradas/salidas permite manejar en paralelo señales de step/dir/en para motores, lectura de endstops, adquisición del sensor térmico y comunicación con la pantalla sin recurrir a hardware adicional (Arduino, Arduino Mega 2560 Rev3 datasheet (A000067), 2026).

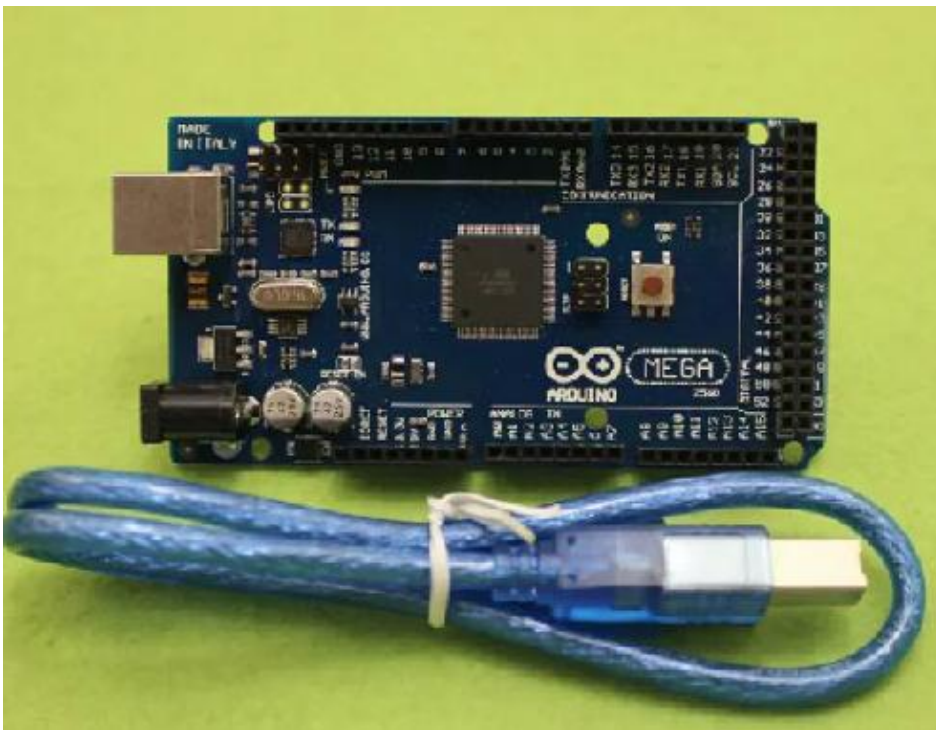
En segundo lugar, al tratarse de una plataforma basada en un AVR de 16 MHz, el control se apoya en temporizadores e interrupciones para generar trenes de pulsos con un nivel de determinismo suficiente para un sistema FDM académico, siempre que el firmware y el cableado estén correctamente configurados (Arduino, Arduino Mega 2560 Rev3 datasheet (A000067), 2026).

Finalmente, la decisión reduce riesgo de desarrollo porque el ecosistema de firmware de 8-bits (por ejemplo, configuraciones típicas de Marlin para Mega/RAMPS) está ampliamente documentado, lo que permite concentrar el trabajo en validar el sistema

completo (movimiento, térmica y seguridad) en lugar de reimplementar desde cero la lógica de control (Marlin Firmware, 2025).

- **Criterio clave:** el desempeño real no depende solo de “las especificaciones” del microcontrolador, sino de la integración eléctrica, temporización efectiva del firmware, ruteo de retornos (GND), desacoplos, ruido inducido por cargas de potencia y separación física/eléctrica entre señal y potencia.

Figura 15. Placa de desarrollo Arduino Mega 2560 Rev3 (ATmega2560)



Fuente: (Micro JPM, 2025)

5.2.3.3 Dependencia funcional: ¿puede operar el hardware sin el Arduino Mega + RAMPS?

El conjunto de hardware descrito (motores, hotend, cama caliente, sensores y pantalla) no puede operar como impresora 3D funcional sin una plataforma de control y potencia

equivalente. En este prototipo, dicha plataforma está compuesta por Arduino Mega 2560 (ejecución del firmware) y RAMPS 1.4 (interconexión y distribución de potencia/señales) (RepRap, s.f.).

Sin una tarjeta de control:

- Los motores paso a paso no reciben trenes de pulsos STEP/DIR temporizados ni señales de habilitación, por lo que no pueden ejecutar trayectorias coordinadas (MarlinFirmware, s.f.).
- El hotend y la cama caliente no disponen de un control de potencia con supervisión y protecciones del firmware; en consecuencia, no existe control térmico seguro ni validación de fallas asociadas a termistores (MINTEMP/MAXTEMP, thermal runaway) (MarlinFirmware, s.f.).
- Los sensores (endstops, termistores) no se leen ni interpretan para homing, límites de recorrido o control PID, porque la conversión ADC y la lógica de seguridad residen en el firmware ejecutado en la unidad de control (Airsplayce, s.f.).

Se reconoce, no obstante, que los componentes sí pueden evaluarse de forma aislada (por ejemplo, probar un endstop con lectura digital, un termistor con lectura ADC o un motor con un driver y un generador de pulsos). Precisamente por ello, el proyecto incorpora sketches de verificación por subsistemas antes de operar con Marlin. Sin embargo, esa “operación por partes” no equivale a la operación como sistema FDM completo, que requiere planificación de movimiento, coordinación multieje y control térmico integrado (MarlinFirmware, s.f.).

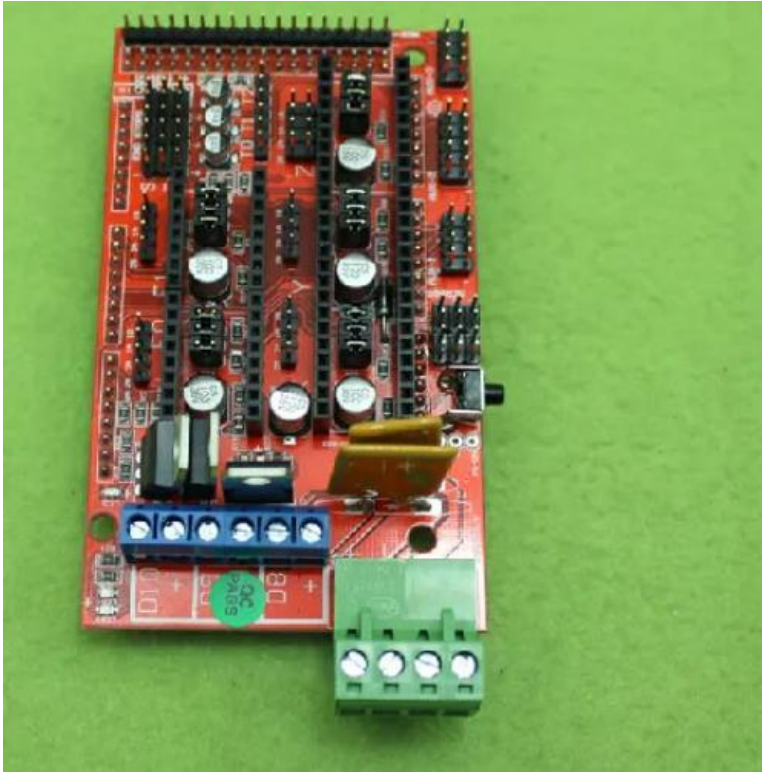
5.2.3.4 RAMPS 1.4 (distribución modular de potencia y señales)

En el prototipo, RAMPS 1.4 cumple el rol de “backplane”: distribuye alimentación y enruta señales entre el Mega y los subsistemas (drivers, hotend, sensores, endstops y LCD). Su aporte técnico se refleja en la modularidad (drivers enchufables, reemplazo por fallas sin retrabajo) y en la facilidad para documentar y mantener el sistema por bloques funcionales (RepRAP, s.f.).

Además, al concentrar la conexión de cargas térmicas y motores, RAMPS obliga a tratar la confiabilidad como un problema de ingeniería eléctrica aplicada: dimensionamiento de conductores y terminales, control de caídas de tensión, disipación en elementos de conmutación (MOSFETs) y orden del arnés para minimizar interferencias (RepRap, s.f.).

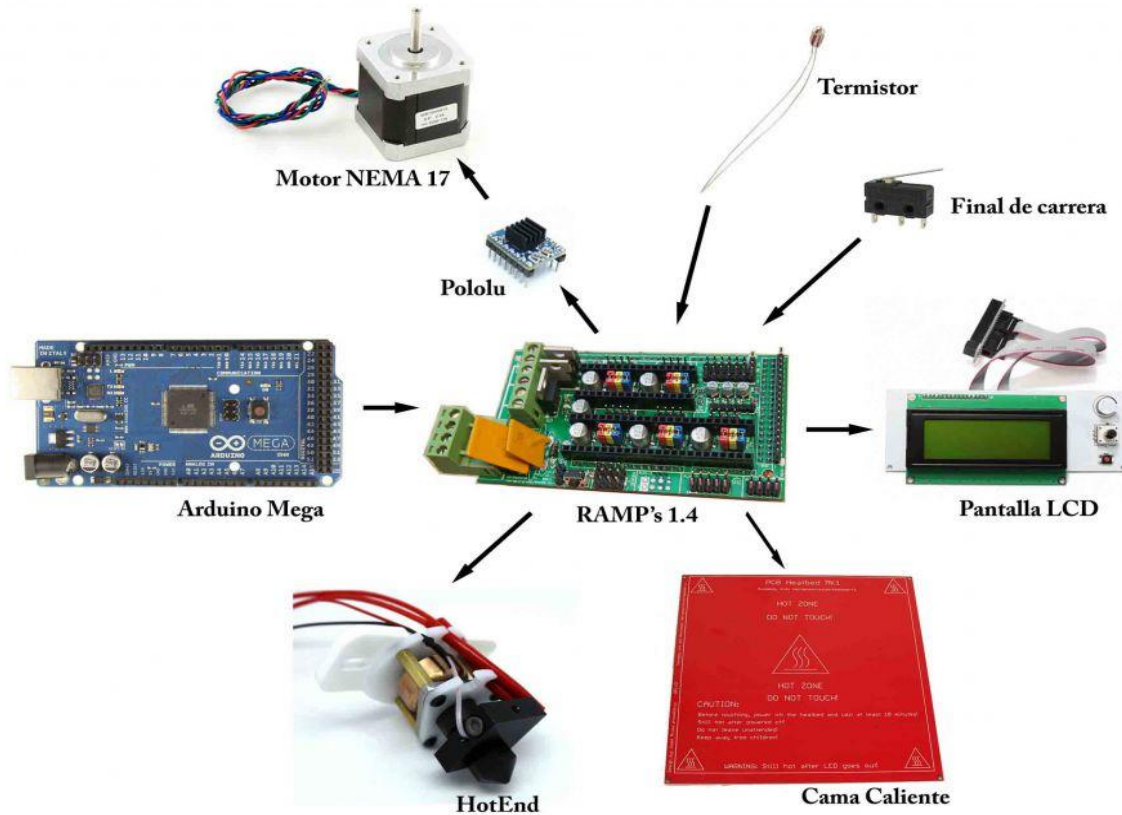
- **Criterio ingenieril clave:** RAMPS no “controla” por sí misma, pero condiciona el comportamiento del sistema en operación continua, por ello, el prototipo debe evidenciar decisiones de cableado, sujeción mecánica, segmentación y verificación térmica/eléctrica durante pruebas.

Figura 16. Tarjeta RAMPS 1.4 (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) con módulos drivers de motores instalados



Fuente: (Micro JPM, 2025)

Figura 17. Esquema didáctico de interconexiones (Arduino Mega + RAMPS 1.4): fuente → RAMPS → motores, cama PCB, hotend, ventiladores, termistores, finales y HMI.



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025). Véase RepRap y documentación de Marlin para el pinout y conexiones (RepRap, s. f.; Marlin Firmware, s. f.).

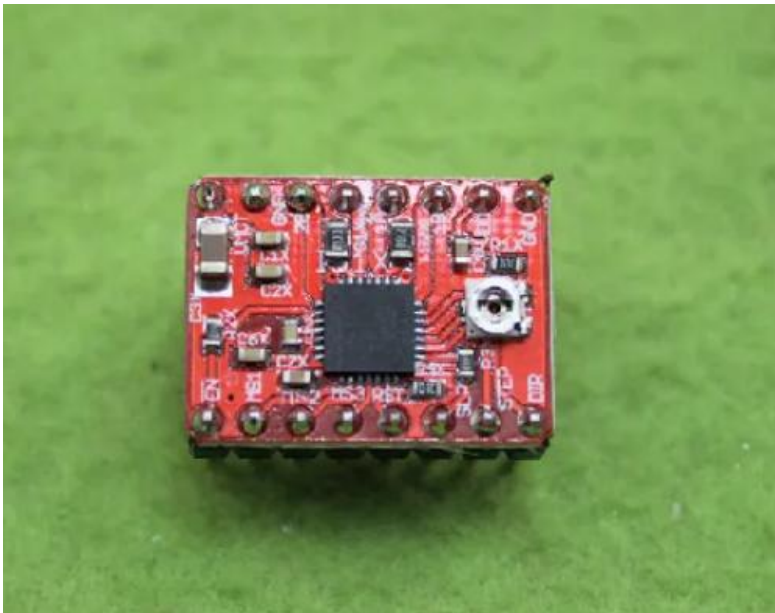
5.2.3.5 Drivers A4988 (microstepping y limitación de corriente)

Los A4988 se emplean como etapa de potencia para motores paso a paso, incorporando control de corriente por chopping y modos de microstepping hasta 1/16, lo cual contribuye a un movimiento más suave y a una resolución de posicionamiento más fina en condiciones típicas de impresión (Pololu).

Desde el punto de vista de diseño, el microstepping no se trata como un “beneficio automático”: mejora la suavidad, pero el sistema debe equilibrar resolución, velocidad y aceleración, porque el torque útil por micropaso no se comporta de forma lineal y la demanda dinámica del eje puede provocar pérdida de pasos si la cinemática exige más par del disponible (Pololu).

El segundo criterio crítico es el ajuste de corriente. En la práctica, la corriente límite se define por el valor de VREF y la resistencia de sensado del carrier; Pololu documenta explícitamente el método de ajuste por VREF (incluyendo consideraciones de “full-step” y el factor ~70%) (Pololu).

Figura 18. Driver de motor paso a paso A4988 (módulo controlador con microstepping)



Fuente: (Micro JPM, A4988 Stepper Motor Driver;, 2025)

Tabla 10. Guía breve para ajuste de corriente del driver

Elemento	Criterio	Aplicación en el prototipo
Microstepping	Configuración por jumpers	Se fija 1/16 como base y se ajusta si hay pérdida de pasos
Límite de corriente	Ajuste por Vref y resistencia de sensado	Se calibra con medición Vref y se valida con prueba térmica; la relación de referencia se documenta como práctica estándar
Riesgo térmico	Drivers se calientan en cargas altas	Se incorpora ventilación y se evita operar al límite nominal
Validación	Ciclos repetidos de movimiento	Se comprueba homing consistente y ausencia de saltos

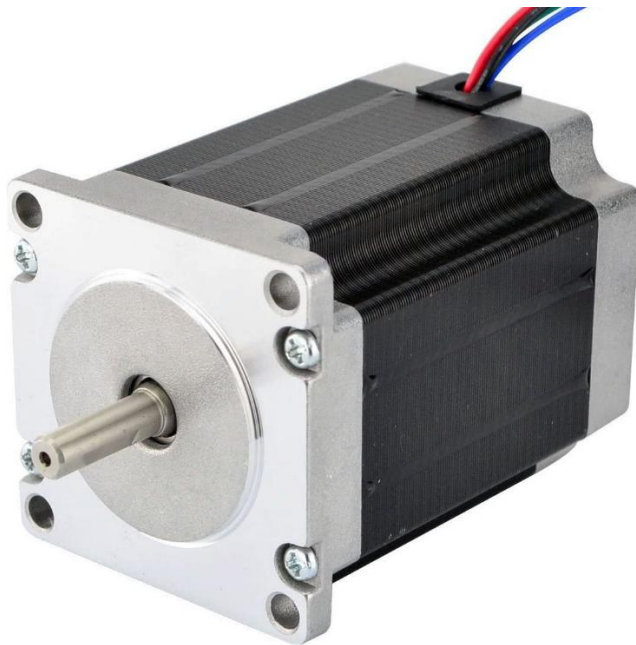
Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

5.2.3.6 Motores NEMA (criterio de dimensionamiento)

Los NEMA se seleccionan por su capacidad de torque y estabilidad a bajas velocidades, lo cual resulta útil cuando el conjunto mecánico presenta masas elevadas o fricciones mayores. En términos de ingeniería, el dimensionamiento se plantea como un problema de balance: el torque requerido debe cubrir fricción, inercia y cargas del eje bajo la aceleración objetivo, evitando pérdida de pasos en operación repetida (Mouser Electronics).

La validación no se sostiene solo con catálogo: el prototipo debe demostrarlo con pruebas de movimiento (ciclos repetidos, homing consistente, cambios de dirección) y evidencias de que el sistema mantiene trayectoria sin desincronización.

Figura 19. Motor paso a paso NEMA (stepper motor de alto torque)



Fuente: (MicroJPM, 2025)

5.2.3.7 Control térmico: hotend 24 V – 40 W, boquilla 0,4 mm y cama caliente 24 VDC

5.2.3.7.1 Hotend 24 V – 40 W + boquilla 0,4 mm

El subsistema térmico se trata como uno de los puntos más sensibles del prototipo, porque la extrusión depende directamente de la estabilidad de temperatura: variaciones amplias impactan la viscosidad del polímero y, con ello, la consistencia del flujo. Por esta

razón, el firmware implementa control en lazo cerrado (típicamente PID) y contempla procedimientos de autotune como M303 para estabilizar la respuesta del hotend (MarlinFirmware, s.f.).

En paralelo, se considera la seguridad operativa mediante protecciones de temperatura (condiciones tipo Heating Failed, MINTEMP/MAXTEMP y Thermal Runaway), que el firmware monitorea para apagar actuadores ante lecturas anómalas o comportamiento fuera de rango (MarlinFirmware, s.f.).

La boquilla 0,4 mm se mantiene como estándar funcional por disponibilidad de consumibles y perfiles, además de ofrecer un compromiso razonable entre detalle y caudal para validaciones de prototipo.

Figura 20. Hotend (cabezal de extrusión) tipo Ender 3 con bloque calefactor, disipador y tubo PTFE



Fuente: (Micro JPM, 2025)

5.2.3.7.2 Cama caliente “Original Ender 3 Pro Aluminum Hot Bed 24VDC”

La integración de una cama caliente de aluminio a 24 VDC (tipo Ender 3 Pro) se justifica como una mejora funcional orientada a adhesión y estabilidad de la primera capa. En el contexto del prototipo, su incorporación no es meramente estética: reduce fallas por desprendimiento, mejora repetibilidad en materiales comunes y permite controlar el gradiente térmico de la base.

Desde el punto de vista eléctrico, la cama caliente se trata como una carga de alto consumo, por lo que el documento debe evidenciar decisiones de ingeniería: dimensionamiento del cableado y conectores, alivio de tensión mecánica, rutas separadas de señal y potencia, y verificación térmica de bornes y elementos de conmutación durante operación prolongada. En firmware, la cama se configura como un canal térmico adicional que debe monitorearse y controlarse, manteniendo criterios de seguridad ante lecturas inválidas o comportamientos fuera de rango.

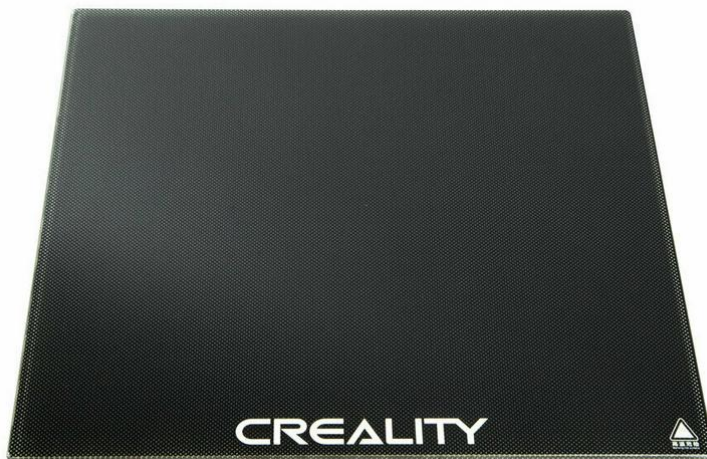
Criterio clave: al integrar cama caliente, la confiabilidad pasa a depender tanto del control térmico como de la robustez del canal de potencia (cables, conectores, disipación y verificación en carga).

Figura 21. Cama calefactada de aluminio (heated bed) para impresora 3D con cableado y aislamiento



Fuente: (Micro JPM, 2025)

Figura 22. Placa de vidrio templado para cama de impresión tipo Ender 3 (Creality)

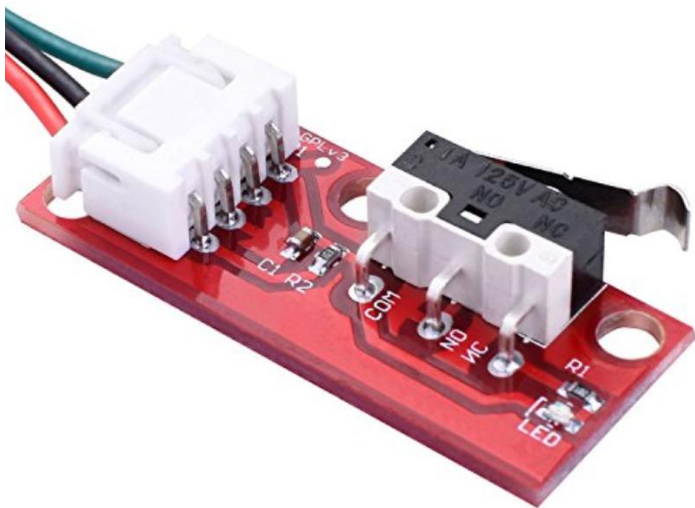


Fuente: (Micro JPM, 2025)

5.2.3.8 Endstops (finales de carrera)

Los endstops se incorporan como elementos de referencia y seguridad. A nivel funcional, permiten establecer un cero mecánico (homing) y definir límites de recorrido para evitar colisiones y sobrecarreras. La robustez del sistema depende de decisiones como lógica NO/NC, rutas de cable lejos de potencia y mitigación de ruido (por diseño de cableado y, cuando aplica, filtrado por firmware) (RepRap, s.f.).

Figura 23. Módulo endstop mecánico (fin de carrera) con microinterruptor para impresora 3D



Fuente: (MicroJPM S.A., RAMPS 1.4 Endstop Limit Switch For 3D Printer;)

5.2.3.9 Transmisión por correa GT2 (X/Y) y husillo T8 (Z)

Para los ejes X/Y, la correa tipo GT2 (6 mm) se utiliza por su desempeño en mecanismos de posicionamiento rápido con baja holgura cuando se combina con poleas

adecuadas; además, el perfil GT2 se asocia comúnmente a un paso de 2 mm, lo que facilita el cálculo de pasos por milímetro en el firmware.

En el eje Z, el prototipo usa un husillo T8 × 400 con tuerca de bronce, priorizando rigidez y capacidad de carga. El criterio de control se centra en la resolución vertical definida por el avance del husillo y la configuración de pasos/microstepping, de modo que el sistema pueda documentar y verificar los pasos/mm como parte de la puesta a punto.

Figura 24. Husillo trapezoidal T8 (tornillo de avance)

con tuerca de bronce



Fuente: (Micro JPM, 2025)

Figura 25. Correa dentada GT2 (timing belt)
para transmisión de movimiento en ejes X/Y

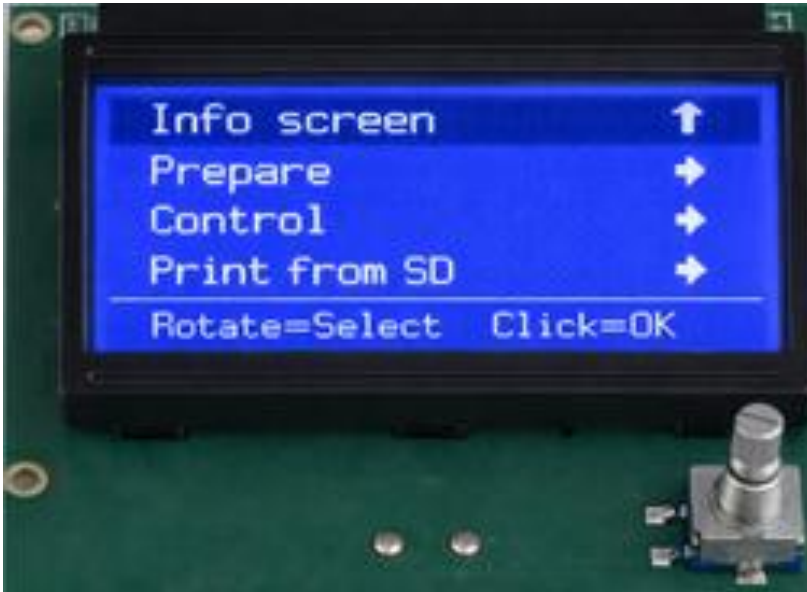


Fuente: (Micro JPM, 2025)

5.2.3.10 LCD/HMI compatible

La LCD/HMI se justifica como componente de operación local, permite consultar estados, temperaturas y ejecutar acciones frecuentes (homing, movimientos manuales, precalentamiento e inicio/pausa si el firmware lo habilita). La elección de un modelo compatible con el ecosistema RAMPS se apoya en el uso de conectores estándar tipo EXP1/EXP2, evitando diseñar una interfaz electrónica propietaria para el prototipo (Marlin Firmware, 2025).

Figura 26. Pantalla LCD 128×64 con encoder (controlador gráfico) para RAMPS 1.4



Fuente: (Micro JPM, 2025)

5.2.3.10.1 Interfaz HMI: configuración, “programación” y evidencia de pantallas

La interfaz HMI utilizada corresponde a una pantalla gráfica 128×64 del ecosistema RepRap/RAMPS conectada por buses EXP1/EXP2. En este tipo de soluciones, la HMI operativa no se programa como un desarrollo de UI desde cero, sino que se habilita y configura en el firmware (Marlin), el cual provee la estructura de menús, la pantalla de estado y el control mediante encoder (MarlinFirmware, s.f.).

En términos de ingeniería de integración, el proyecto documenta la HMI como:

- hardware COTS (pantalla/controlador) + configuración de firmware + verificación de funcionamiento.

Para habilitarla en Marlin se selecciona el tipo de controlador LCD correspondiente (por ejemplo, la familia “RepRapDiscount Full Graphic Smart Controller” se activa mediante la definición indicada en el archivo de configuración) (RepRap, s.f.).

Adicionalmente, Marlin permite enviar mensajes a la pantalla desde G-code mediante comandos como M117 (Set LCD Message), lo que demuestra que la HMI también forma parte del canal de interacción software-operación durante pruebas o rutinas de impresión (MarlinFirmware, s.f.).

- Pantalla de estado (“Ready”) con temperaturas actual/objetivo.
- Menú de movimiento (Move Axis / Home) mostrando interacción con encoder.
- Menú de temperatura (Preheat PLA / Control Temperature) mostrando setpoints y lectura estable.

Figura 27. Pantalla LCD – Menú de control



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

La imagen muestra el menú principal de control del sistema visualizado. Desde esta interfaz, el usuario puede acceder a las principales categorías de configuración del equipo, como temperatura, movimiento, filamento y velocidad, utilizando un codificador rotatorio para la navegación y selección de opciones.

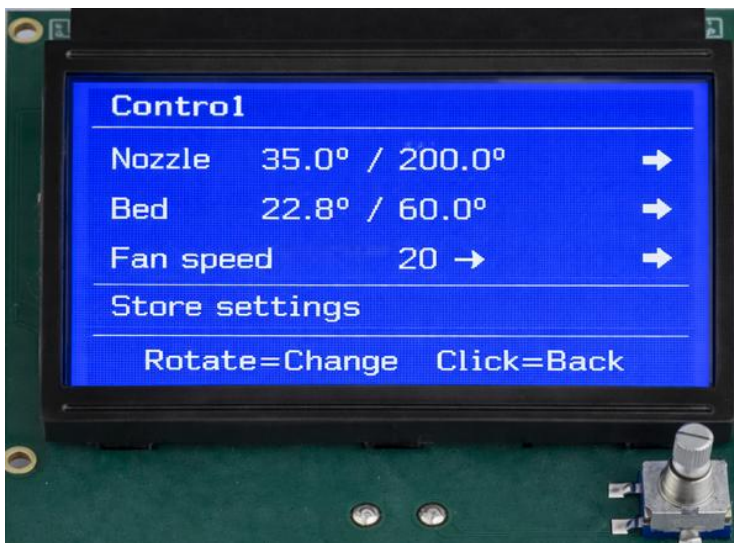
Figura 28. Pantalla de monitoreo de posición y temperatura del sistema



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

En esta pantalla se presenta la información de estado del sistema en tiempo real, incluyendo la posición actual de los ejes X, Y y Z, así como las temperaturas actuales y objetivo de la boquilla y la cama calefactada. Esta vista permite al usuario supervisar el funcionamiento general del equipo durante la operación o en estado de reposo.

Figura 29. Interfaz del menú Control para ajuste de temperatura y ventilador en pantalla LCD



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

La imagen corresponde a un submenú del apartado de control, donde se habilita el ajuste directo de parámetros térmicos y operativos, como la temperatura de la boquilla, la cama y la velocidad del ventilador. Además, se incluye la opción de almacenar los valores configurados, garantizando que los cambios realizados puedan conservarse en la memoria del sistema.

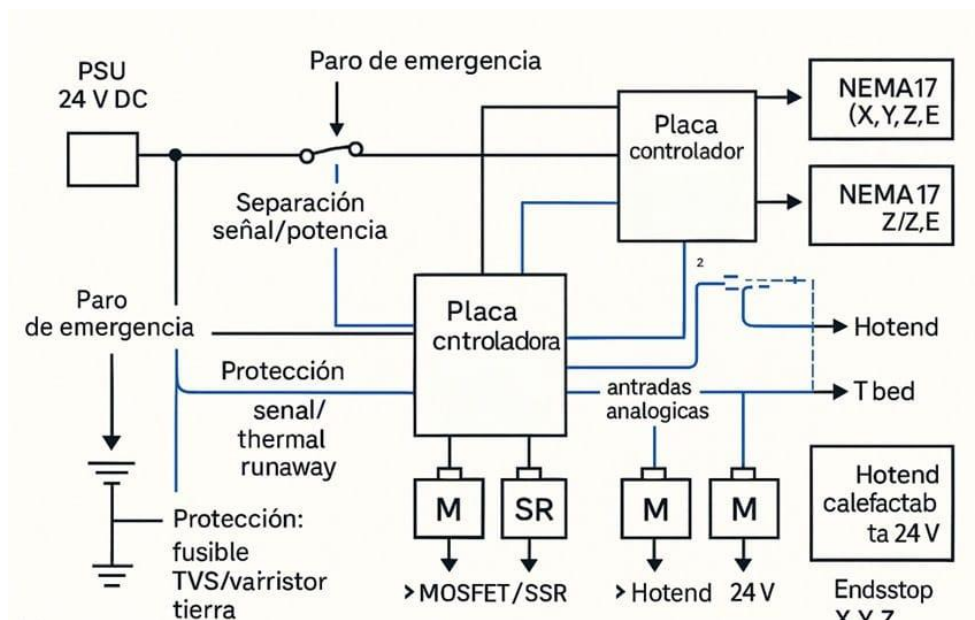
5.2.3.11 Dimensionamiento de potencia (criterios)

En paralelo, se generó un diagrama detallado de conexionado que especifica longitudes de conductores, calibres, tipos de conectores, rutas y alivios de tensión. Con esta información se estandariza la instalación, se evitan bucles innecesarios y se ordenan las trayectorias de los cables, lo cual simplifica la inspección preventiva y reduce el riesgo de falsos contactos o sobrecalentamientos.

- PSU 24 V \geq suma de potencias cama + hotend con 30 % de margen. Ejemplo: 220 W (cama) + 40 W (hotend) = 260 W \rightarrow $260 \times 1.3 \approx 340$ W \rightarrow se selecciona 360 W.
- Calibre de cable en líneas de alta corriente: para una cama ~ 10 A a 24 V se recomienda AWG16 o mayor, con terminales anillados y trayectos cortos.
- Puesta a tierra: chasis y base metálica conectados a tierra del sistema para protección del usuario.

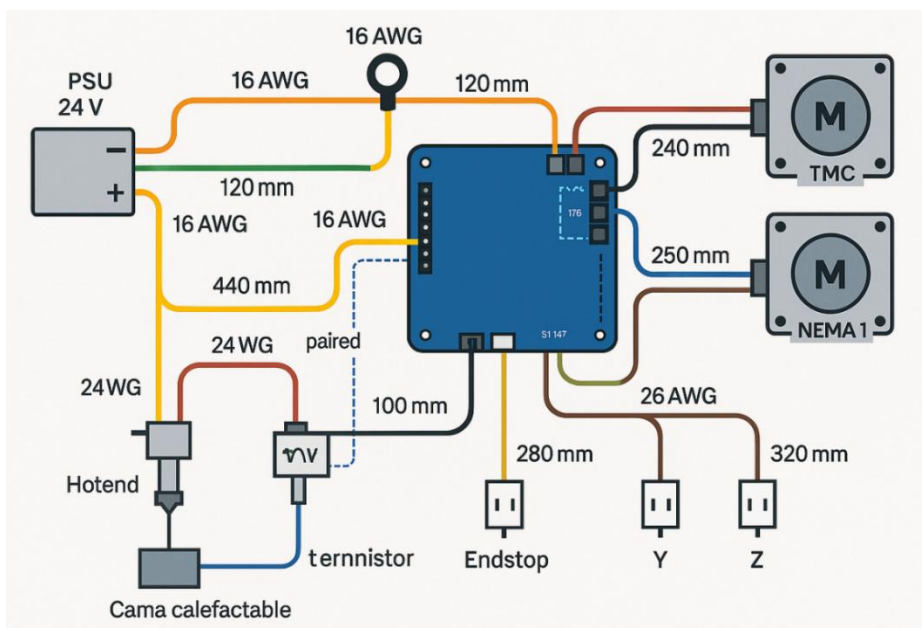
Figura 30. Diagramas de referencia de cableado y seguridad

(señal/potencia, protecciones)



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025), a partir de documentación pública (RAMPS/firmware).

Figura 31. Diagrama de cableado del prototipo (placa, drivers, motores, termistores, cartuchos calefactores, ventiladores y endstops)



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025).

En conjunto, ambas figuras brindan una guía complementaria para la integración eléctrica del prototipo. La Figura 30 funciona como referencia de buenas prácticas y criterios de seguridad, al separar explícitamente los circuitos de señal y potencia, y al destacar consideraciones mínimas de protección (ruteo, puesta a tierra, alivio de tensión y organización del arnés). Por su parte, la Figura 31 concentra el cableado específico del sistema implementado, detallando las interconexiones entre la placa (Arduino Mega + RAMPS 1.4), los drivers, motores, termistores, cartuchos calefactores, ventiladores y finales de carrera. Esta combinación permite, por un lado, estandarizar el montaje para replicación y mantenimiento, y por otro, facilitar la inspección preventiva y el diagnóstico de fallas (por ejemplo, falsos

contactos, inversión de conectores, desconexión de sensores o sobrecalentamiento de terminales), reduciendo el riesgo de incidencias durante operación continua en un entorno académico.

5.3 Programas diseñados para el Arduino: verificación por subsistemas (sketches)

Además del firmware principal (Marlin), se incorporaron programas breves (sketches) cargados directamente en el Arduino Mega 2560 con el propósito de validar subsistemas de forma aislada antes de operar la impresora en modo completo. Este enfoque reduce el tiempo de depuración, ya que permite confirmar primero entradas y salidas críticas (finales de carrera, lectura analógica de termistores, habilitación de drivers y respuesta de la pantalla), sin depender del planificador de movimiento y del conjunto total de funciones del firmware.

En términos de alcance, estos programas no sustituyen a Marlin: se emplean como herramientas de diagnóstico para confirmar que el cableado y la lógica de señal son coherentes con la electrónica utilizada (Mega + RAMPS 1.4) y que los periféricos responden de manera estable.

Tabla 11. Inventario de sketches de verificación (autoría del proyecto) y dónde colocarlos en el documento

Sketch	Subsistema	Evidencia que aporta	Dónde incluirlo
Endstops_Test.ino	Endstops	Lectura estable, estado reposo/activación	Anexo A (código completo) + referencia

Sketch	Subsistema	Evidencia que aporta	Dónde incluirlo
Stepper_Driver_Test.ino	Motores/Drivers	Dirección, pasos, aceleración, estabilidad	Anexo B + referencia
Thermistor_ADC_Test.ino	Termistores	Lectura ADC coherente, tendencia al calentar	Anexo C + referencia
LCD_U8G2_Test.ino	LCD	Encendido, contraste, comunicación estable	Anexo D + referencia

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025).

5.3.1 Rol del Arduino Mega 2560 y ubicación del software de autoría (sketches)

En el prototipo, el Arduino Mega 2560 cumple dos roles diferenciados pero complementarios. Primero, funciona como unidad central de control al ejecutar el firmware Marlin, coordinando entradas/salidas del sistema (lectura de endstops y termistores, planificación de movimiento y activación de actuadores) (Arduino, 2026).

Segundo, se utiliza como plataforma de diagnóstico mediante programas breves (sketches) cargados directamente en el microcontrolador para validar subsistemas de forma aislada antes de la integración completa.

Con el fin de evidenciar autoría y trazabilidad, los sketches de verificación se incorporan como Anexos y se referencian desde este apartado, indicando (i) propósito, (ii) librerías, (iii) comandos/funciones y (iv) criterio de diseño. Por ejemplo:

- En la prueba de endstops se emplea `pinMode(INPUT_PULLUP)` para fijar el estado en reposo y reducir entradas flotantes, y `digitalRead()` para verificar transición de estado, registrando resultados por `Serial.begin()` y `Serial.print()` (Airspayce, s. f.).
- En la prueba de termistores se usa `analogRead()` para confirmar lecturas crudas del ADC y descartar saturaciones 0/1023 típicas de desconexión o corto, antes de depender del lazo PID del firmware (olikraus, 2024).
- En la prueba de motores se utiliza una librería de control de movimiento (p. ej., `AccelStepper`) para ejecutar desplazamientos controlados con aceleración, evitando conclusiones erróneas por arranques bruscos y permitiendo comparar ejes bajo condiciones repetibles (Airspayce).

En suma, el Arduino Mega “controla todo el hardware” cuando ejecuta Marlin, pero el mérito del proyecto se documenta en (a) la integración eléctrica/mecatrónica, (b) la configuración del firmware, y (c) los programas de verificación como evidencia de ingeniería aplicada y depuración sistemática (RepRap, s.f.).

5.3.2 Mérito del proyecto y desarrollo de ingeniería del estudiante

El proyecto no reclama autoría de diseño industrial sobre componentes comerciales (COTS), sino que fundamenta su aporte en el desarrollo de ingeniería de integración y en la validación demostrable del sistema. En términos verificables, el mérito técnico se concentra en:

1. **Diseño de integración por subsistemas:** definición de arquitectura (control/potencia/movimiento/térmico/HMI), selección justificada de plataforma

Mega+RAMPS por modularidad y replicabilidad académica, y delimitación de señales I/O (RepRap, s.f.).

2. **Dimensionamiento y configuración de movimiento:** cálculo de steps/mm y criterios de aceleración/jerk, coherentes con la forma en que Marlin encola y ejecuta movimientos G0/G1 (MarlinFirmware, s.f.).
3. **Gestión de potencia y seguridad:** criterio de fuente 24 V con margen, selección de calibres para líneas de alta corriente y verificación de canal térmico; además de activar y verificar protecciones del firmware asociadas a fallas térmicas (MarlinFirmware, s.f.).
4. **Configuración técnica del firmware:** definición de tarjeta/placa (board), sensores térmicos, control PID y rutinas de ajuste (M303), así como parámetros de calentamiento y espera (M104/M109/M140/M190) coherentes con el flujo de inicio de impresión (MarlinFirmware, s.f.).
5. **Depuración sistemática y evidencia:** sketches de prueba (autoría del estudiante) para validar subsistemas antes de operar el firmware completo, registro de incidencias y acciones correctivas, y validación metrológica (cubo 20 mm, repetibilidad, estabilidad térmica) (Airspayce).

Bajo este enfoque, el “control total” del sistema por firmware no elimina el mérito; por el contrario, desplaza el valor del trabajo hacia lo que un entorno académico exige demostrar: criterios de selección, integración, parametrización, pruebas, seguridad y trazabilidad.

5.3.3 Programa de verificación de finales de carrera (Endstops Test)

Este programa se diseñó para comprobar el comportamiento eléctrico de los finales de carrera conectados a la RAMPS, verificando continuidad, estado en reposo y transición al activarse.

- **Librerías utilizadas:** se emplea únicamente el núcleo estándar de Arduino (sin librerías externas), para minimizar variables y asegurar portabilidad.
- **Comandos/funciones principales:**
 - `pinMode(pin, INPUT_PULLUP)`: activa la resistencia interna de pull-up para evitar entradas flotantes y mejorar inmunidad al ruido eléctrico (Arduino, 2026).
 - `digitalRead(pin)`: lee el estado lógico del pin y permite registrar si el interruptor está abierto/cerrado.
 - `Serial.begin()` y envío por `Serial.print/println()`: facilita observar resultados en el monitor serial durante la prueba (Arduino, 2025).

El uso de `INPUT_PULLUP` se justifica porque los finales de carrera mecánicos suelen introducir ruido y rebotes; al fijar el nivel en reposo se evita que el sistema interprete falsos disparos por interferencia (Arduino, 2026).

5.3.4 Programa de prueba de motores por señales STEP/DIR (Stepper + Driver Test)

Este programa se orientó a validar, por eje, la habilitación del driver, dirección de giro, respuesta del motor y estabilidad de movimiento sin requerir todavía la configuración completa de Marlin.

- **Librería utilizada: AccelStepper**, seleccionada por su modelo de movimiento con aceleración y su operación no bloqueante, adecuada para pruebas controladas (McCauley, 2026).
- **Comandos/funciones principales (típicos en la prueba):**
 - `setMaxSpeed()` y `setAcceleration()`: definen límites seguros para evitar pérdidas de paso durante la verificación (Airspayce).
 - `moveTo()` + `run()`: ejecutan desplazamientos con aceleración y desaceleración, lo cual facilita detectar inversión de cableado o dirección incorrecta (Airspayce).

El uso de aceleración controlada es clave porque un arranque brusco puede inducir pérdida de pasos o vibración excesiva, dando resultados falsos sobre el estado del eje. El enfoque `moveTo()/run()` permite pruebas repetibles y comparables entre ejes (Airspayce).

5.3.5 Programa de lectura analógica de termistores (Thermistor ADC Test)

Este programa se definió para confirmar que el canal analógico recibe valores coherentes desde el termistor y que la señal varía de manera esperada con el cambio de temperatura.

- **Librerías utilizadas:** núcleo Arduino (y funciones matemáticas básicas si se aplica una conversión aproximada).
- **Comandos/funciones principales:**
 - `analogRead(pin)`: toma muestras del conversor ADC para verificar que no existan saturaciones (0/1023) asociadas a desconexión o corto (Arduino, 2025).
 - Envío por serial (`Serial.begin()` y `Serial.println()`): permite observar estabilidad, ruido y tendencia de lectura en tiempo real (Arduino, 2025).

Validar primero la lectura “cruda” (ADC) facilita identificar errores de cableado o fallos de sensor antes de entrar al control térmico PID del firmware. La documentación de Arduino describe `analogRead()` como el mecanismo estándar para adquirir señales analógicas y convertirlas a valores digitales (Arduino, 2025).

5.3.6 Programa de prueba de pantalla LCD (LCD Test)

Este programa se utilizó como verificación de encendido y comunicación de la pantalla gráfica 128×64 y su controlador, antes de operarla mediante Marlin.

- **Librería utilizada:** **U8g2**, elegida por su soporte amplio de controladores gráficos y por su esquema de constructores según controlador/interfaz (Olikraus, 2026).
- **Comandos/funciones principales (conceptuales):**
 - Selección del constructor correspondiente al controlador (p. ej., familias ST7920) y llamada a `begin()`.

- Rutina de “Hello World”/texto básico para comprobar contraste, refresco y estabilidad de la comunicación.

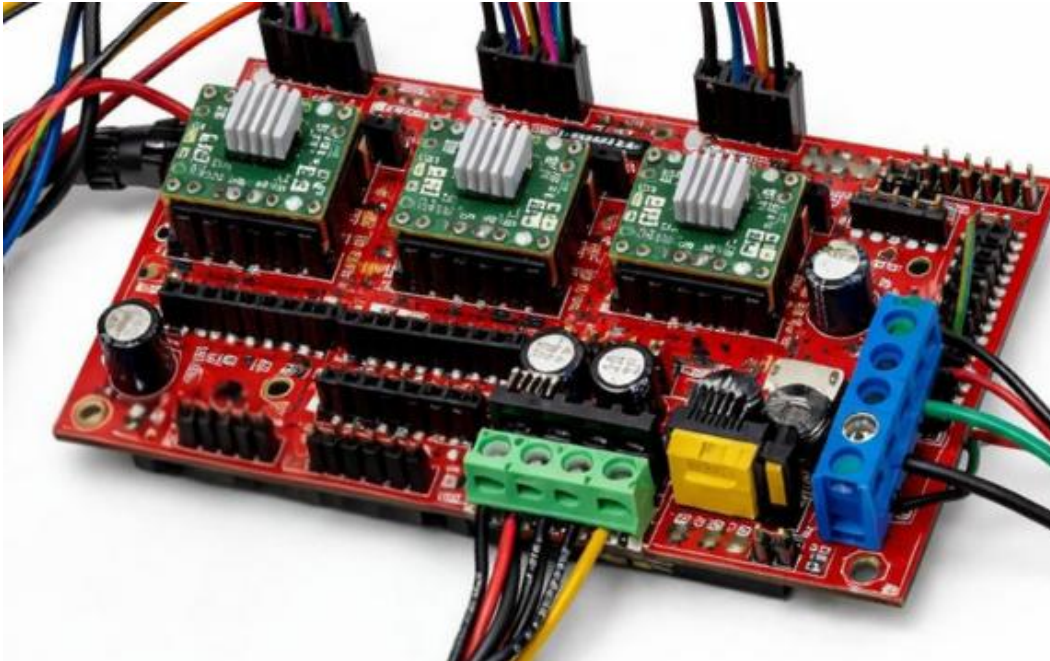
La verificación aislada con U8g2 ayuda a separar problemas de hardware (alimentación, contraste, cableado de interfaz) de los problemas de configuración interna de Marlin. Además, este tipo de controladores es común en pantallas 128×64 usadas en entornos RepRap/RAMPS (RepRap Wiki, 2022).

5.4 Evidencia del prototipo ensamblado

Con el propósito de respaldar la construcción y la integración del prototipo, en este apartado se presenta evidencia visual del equipo ya armado y energizado. Las imágenes documentan tres aspectos clave del sistema: (i) la operación de la interfaz HMI/LCD, (ii) la integración del conjunto electrónico (control y potencia) y (iii) la vista general de la impresora ensamblada, incluyendo estructura, sistema de movimiento y módulo de extrusión. En conjunto, estas evidencias permiten comprobar que el prototipo fue montado como un sistema funcional y que se encuentra en condición de operación o de prueba inmediata.

5.4.1 Integración del conjunto electrónico (control y potencia)

Figura 32. Arduino Mega 2560 + RAMPS 1.4 (controladora para impresora 3D)



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025), a partir de documentación pública ((Micro JPM, 2025).

La imagen presenta el conjunto de control electrónico utilizado en el prototipo, conformado por una placa Arduino Mega 2560 y el módulo RAMPS 1.4. Esta integración concentra las funciones principales de la impresora 3D, permitiendo la conexión de drivers de motores, salidas de potencia para cama caliente y hotend, así como entradas de sensores y finales de carrera, lo que facilita el control coordinado del sistema.

5.4.2 Operación de la interfaz HMI/LCD

Figura 33. Pantalla HMI en operación



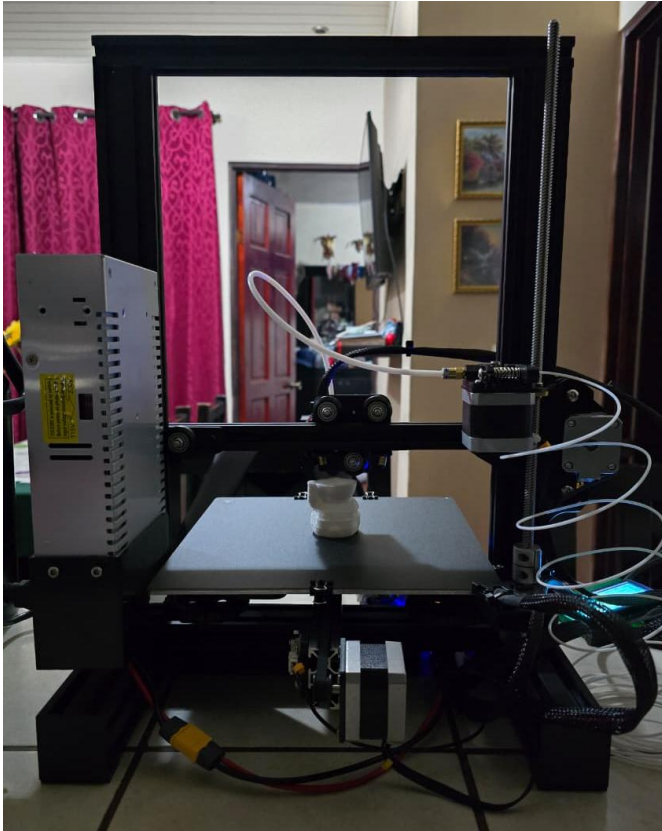
Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025), a partir de documentación pública ((Micro JPM, 2025).

La imagen muestra la interfaz HMI/LCD funcionando como medio de interacción directa con el equipo. Desde esta pantalla se visualiza información clave del estado del sistema (posición de ejes y temperaturas) y se accede a menús de configuración y control, lo que permite realizar ajustes y acciones operativas sin necesidad de una computadora externa.

5.4.3 Vista general de la impresora ensamblada

Figura 34. Vista general del sistema de impresión

3D ensamblado



Fuente: (Creality, 2024)

La imagen muestra el prototipo de la impresora 3D completamente ensamblado, donde se aprecia la estructura principal, el sistema de movimiento en los ejes X, Y y Z, la cama de impresión, el conjunto de extrusión y la disposición del cableado y la electrónica. Esta vista permite evidenciar la correcta integración de los componentes mecánicos y electrónicos, así como el estado operativo del equipo durante una fase inicial de prueba e impresión.

5.5 Depuración y resultados

En el apartado se describe cómo se depuró y se validó el prototipo FDM para confirmar que opera de manera estable, segura y repetible antes de destinarlo a actividades de aprendizaje y prototipado rápido. Para lograrlo, el equipo siguió una secuencia de verificación progresiva (de los subsistemas más externos hacia los internos): primero se revisaron condiciones de alimentación y conexiones eléctricas, luego el movimiento por ejes y la respuesta de los finales de carrera, después el desempeño del control térmico (incluyendo ajuste PID y funciones de protección), y finalmente se consolidó el ajuste mediante una impresión guía enfocada en calibraciones críticas como extrusión y primera capa (MarlinFirmware, s.f.).

Además, la sección deja constancia de las incidencias detectadas durante las pruebas y de las acciones correctivas aplicadas, con el fin de que el proceso sea trazable y pueda repetirse bajo condiciones comparables. El cierre se apoya en resultados funcionales y metrológicos obtenidos con muestras representativas, aportando evidencia de estabilidad térmica, precisión dimensional y verificación de salvaguardas del firmware; estos criterios se alinean con prácticas ampliamente aceptadas en manufactura aditiva y con medidas de seguridad y calibración recomendadas para plataformas basadas en Marlin (Gibson, Rosen & Stucker, 2021; Chua & Leong, 2017; Marlin Firmware, s. f.).

5.5.1 Metodología de depuración

Se aplicó un enfoque “de fuera hacia adentro”:

- Eléctrico/potencia: verificación de PSU 24 V, polaridad, continuidad, terminales crimpados y borneado (inspección visual + multímetro).

- Motores y finales: prueba individual de cada eje, sentido de giro, inversión de fases si procede y validación de homing.
- Térmico: lectura estable de termistores, pruebas de calentamiento con oscilación $\leq \pm 2-3$ °C tras ajuste PID, activación de thermal-runaway.
- Mecánico: precarga de ruedas en V, tensión de correas, juego axial del husillo, paralelismo cama-pórtico.
- Impresión guía: calibración de E-steps, primera capa y cubo de 20 mm.

5.5.2 Incidencias detectadas y acciones

- Ligeras marcas de ghosting en X/Y. Se redujo aceleración y jerk y se mejoró tensión de correas (\downarrow vibración de bastidor).
- Sobre-extrusión inicial. Ajuste de E-steps por método de 100 mm y flow en el laminador (± 3 %).
- Variación térmica de la cama. PID y aislamiento inferior; caída de oscilación de ± 4 °C a ± 1.8 °C.
- Primeras capas irregulares. Malla bilineal y babystep Z durante la impresión (Prusa Research, 2023).

5.5.3 Resultados de validación (muestras representativas)

Tabla 12. Resultados de validación funcional y metrológica del prototipo FDM (muestras representativas)

Prueba	Criterio	Resultado
Homing y finales (X/Y/Z)	Homing y finales (X/Y/Z)	Homing y finales (X/Y/Z)

PID hotend 200 °C	Sobrepaso ≤ 3 °C, error estacionario $< \pm 1$ °C	2.1 °C / ± 0.6 °C
PID cama 60 °C	Sobrepaso ≤ 4 °C, error estacionario $< \pm 2$ °C	2.8 °C / ± 1.2 °C
Dimensión cubo 20 mm (X/Y/Z)	± 0.10 mm	20.02 / 19.98 / 20.03 mm
Repetibilidad (5 cubos)	$\sigma \leq 0.05$ mm	$\sigma_{X} = 0.03$; $\sigma_{Y} = 0.04$; $\sigma_{Z} = 0.03$
Calidad de capa (0.20 mm)	Superficie uniforme, sin under/over visibles	Conforme
Seguridad	Thermal-runaway, límites y E-STOP	Activos

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

La tabla 9 consolida ensayos clave del prototipo. Primero, el homing de los ejes X/Y/Z verifica que los finales de carrera en lógica NC actúen de forma confiable, una práctica recomendada por su comportamiento fail-safe. Luego, las pruebas PID a 200 °C (hotend) y 60 °C (cama) muestran sobrepasos y errores estacionarios dentro de los umbrales establecidos, condición necesaria para estabilidad térmica y buena adhesión de la primera capa. La verificación dimensional mediante un cubo de 20 mm arroja mediciones 20.02/19.98/20.03 mm (X/Y/Z), todas dentro de ± 0.10 mm; la repetibilidad en 5 réplicas presenta desviaciones estándar $\sigma_X = 0.03$ mm, $\sigma_Y = 0.04$ mm, $\sigma_Z = 0.03$ mm, por debajo del límite de 0.05 mm. La calidad de capa (0.20 mm) se evalúa como conforme (sin evidencias de under/over-extrusion),

y las salvaguardas de seguridad —thermal-runaway, límites y E-STOP— se confirman activas. En conjunto, los resultados indican precisión, estabilidad térmica y seguridad acordes con un uso didáctico y de prototipado rápido. (Gibson, Rosen & Stucker, 2015; Chua & Leong, 2017; Marlin Firmware, s. f.)

5.5.4 Resultados

El modelo evaluado corresponde a un maneki-neko (gato de la suerte) impreso en filamento blanco. Se llega a observar que la pieza presenta líneas de capa regulares y una base bien asentada, lo que indica una adhesión adecuada a la cama y un flujo estable durante la mayor parte de la impresión. No se identifica alabeo en la base y la geometría general se mantiene fiel, especialmente en volúmenes curvos como la cabeza y el torso.

En los rasgos finos ojos, hocico y relieves de la moneda los detalles aparecen suavizados, algo esperable cuando se configura una altura de capa media ($\approx 0,2-0,28$ mm) o se emplean perímetros a velocidades moderadamente altas. Se aprecia un hilo delgado entre las orejas y algunos cabellos plásticos en zonas cercanas, señal de stringing asociado, por lo general, a una temperatura de extrusión algo elevada o a una retracción conservadora. Los voladizos se sostienen correctamente y no muestran colapsos, aunque en ángulos exigentes se perciben líneas más visibles. También se detecta un ghosting leve en ciertos contornos, compatible con aceleraciones/“jerk” altos o con correas que admiten un pequeño ajuste de tensión.

La duración total de 3 horas y 32 minutos resulta coherente con una configuración típica de boquilla de 0,4 mm, altura de capa media y velocidades de impresión orientadas a equilibrar tiempo y calidad. Bajo esas condiciones, el resultado puede catalogarse como un

prototipo visual sólido, adecuado para revisar forma y acabado general antes de una tirada orientada a mayor definición.

A partir de lo observado, el stringing probablemente proviene de una temperatura ligeramente superior a la óptima para el filamento utilizado o de parámetros de retracción que requieren afinación. El ghosting sutil sugiere revisar la dinámica de movimiento: reducir aceleraciones y “jerk”, además de comprobar la tensión de correas y la rigidez del conjunto mecánico. El suavizado de detalles se explica, principalmente, por la altura de capa empleada y por la velocidad de perímetros, factores que priorizan el rendimiento temporal frente a la definición fina.

Figura 35. Maneki-neko impreso en 3D (prototipo en PLA)



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

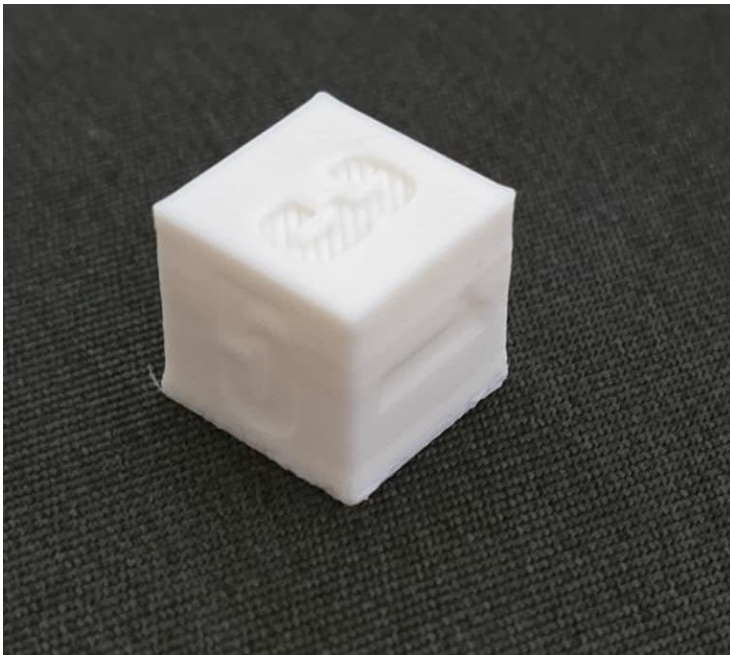
En la Figura 27 se observa un maneki-neko impreso mediante tecnología FDM en filamento blanco, con la pata izquierda levantada y una moneda frontal, posado sobre la cama de la impresora. La pieza presenta capas uniformes y contornos definidos en el rostro y la extremidad elevada, con un acabado general limpio. Se identifica un hilo fino entre las orejas que evidencia leve stringing, fenómeno habitual cuando aún se ajustan los parámetros de retracción y temperatura. La adhesión de la primera capa resulta adecuada y el modelado de volúmenes pequeños se mantiene estable. El tiempo total de impresión fue de 3 h 32 min, por lo que se considera un prototipo visual satisfactorio previo a una iteración de acabado fino.

Además de la pieza principal del maneki-neko, se imprimió un pequeño dado de prueba en filamento PLA blanco, con seis caras y relieves en sus superficies. Esta pieza cúbica se utilizó como ensayo rápido para verificar la precisión dimensional de la impresora, la definición de aristas y la legibilidad de detalles pequeños en geometrías rectilíneas. El tiempo total de fabricación fue de aproximadamente 20 minutos, por lo que resultó adecuado como prueba corta de calibración tras los ajustes iniciales de la máquina.

En las imágenes del dado se observan caras laterales con líneas de capa visibles pero uniformes, lo que indica un flujo estable y un desplazamiento consistente de los ejes durante la impresión. Las aristas se aprecian bien definidas, con una ligera expansión en la zona de la primera capa propia de una buena adhesión a la cama (efecto “elephant foot” moderado). Los números y símbolos grabados en las caras mantienen una lectura clara, aunque algunos bordes aparecen suavizados, coherente con el uso de una altura de capa media y velocidades orientadas a priorizar el tiempo de impresión sobre la resolución extrema. No se evidencian deslaminaciones ni fallos estructurales en el cubo, por lo que se considera una pieza estable para validación geométrica.

Desde el punto de vista funcional, el dado confirma que la impresora puede producir piezas de pequeño volumen en lapsos reducidos sin comprometer la estabilidad mecánica ni la coherencia de las capas. En conjunto con el maneki-neko, este cubo de prueba refuerza la conclusión de que el prototipo es capaz de abordar tanto modelos con curvas y detalles orgánicos como geometrías cúbicas con relieves definidos, lo que resulta pertinente para su uso académico en prácticas de diseño y fabricación aditiva.

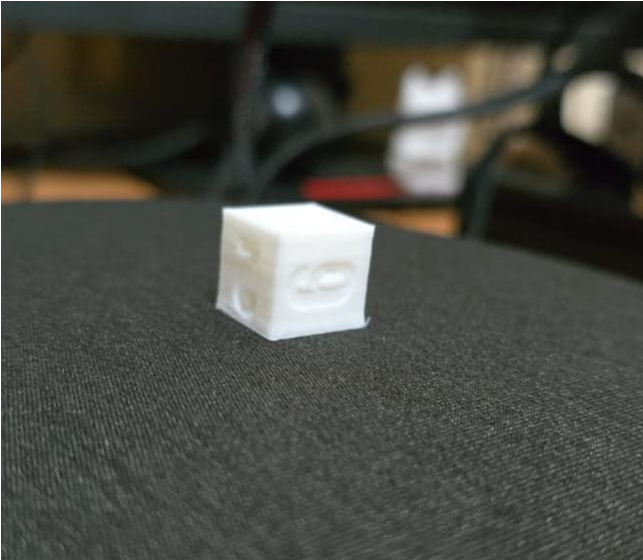
Figura 36. Dado de prueba impreso en 3D (PLA blanco)



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

Vista de un dado cúbico impreso en PLA blanco sobre una superficie textil oscura. Se aprecian las seis caras del sólido con relieves en bajo relieve, aristas nítidas y capas regulares. La pieza corresponde a una impresión de aproximadamente 20 minutos utilizada como prueba rápida de calibración dimensional y verificación de calidad superficial.

Figura 37. Dado de prueba impreso en 3D



Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

En la imagen se observa un pequeño dado cúbico impreso en PLA blanco. La pieza presenta seis caras con relieves en bajo relieve y líneas de capa visibles pero uniformes, lo que refleja un flujo de extrusión estable.

5.6 Implementación

Con los resultados satisfactorios de las pruebas, se procedió a la implementación en sitio del prototipo de impresora 3D tipo marco 2020 (arquitectura cartesiana con sistema Bowden). La integración siguió una secuencia ordenada que parte del ensamble mecánico y electrónico, continúa con la colocación y verificación de sensores, y culmina con la calibración y documentación de resultados.

1. Preparación del sitio e instalación

- **Ubicación y fijación.** Se seleccionó una superficie rígida y nivelada para minimizar vibraciones. El chasis se verificó en escuadra y se ajustaron las uniones en los perfiles 2020 para asegurar paralelismo entre ejes.
- **Alimentación y seguridad.** La fuente de 24 V se fijó al lateral del marco, con conexión a tierra y rutas de cable protegidas en malla expandible para evitar interferencias y roces con partes móviles.
- **Tendidos y recorridos.** Se definieron las trayectorias del tubo Bowden y del arnés del cabezal móvil, garantizando radios de giro amplios y sin tensiones al recorrer todo el volumen de trabajo.

2. Integración mecánica y electrónica

- **Transmisión y guiado.** Se ajustaron correas GT2 con tensión uniforme y se verificó la alineación de ruedas excéntricas en el eje X. El eje Z se montó con husillo y acople libre de excentricidades.
- **Sensores y finales de carrera.** Se posicionó el final de carrera de Z de forma que el “home” dejara margen para la nivelación de cama. Se planificó el espacio para sensores adicionales y preservando recorridos y mantenimiento.

3. Calibración y parámetros

- **Nivelación y alturas.** Se niveló la cama y se fijó la altura Z inicial con galga/hoja, asegurando primera capa homogénea.
- **Extrusión.** Se calibraron pasos por milímetro del extrusor y flujo para material PLA.
- **Temperaturas y ventilación.** Se trabajó con temperaturas típicas de PLA y ventilación activa sobre la pieza para mejorar puentes y detalles finos.
- **Prueba funcional.** Se imprimió un maneki-neko (gato de la suerte) como pieza de validación dimensional y estética, junto con un dado cúbico de seis caras con relieves utilizado como prueba rápida de calibración. La duración total de la impresión del maneki-neko fue de 3 h 32 min, mientras que el dado se fabricó en aproximadamente 20 min. Ambos resultados evidenciaron buena adhesión de capa y definición general; en el caso del maneki-neko se observó una leve formación de hilos en zonas altas, corregible afinando los parámetros de retracción y temperatura, y en el dado se confirmó una geometría estable y una lectura clara de los detalles en bajo relieve.

1) Documentación de la implementación

Se documentaron fotografías del proceso, parámetros de impresión (velocidades, temperaturas, retracciones, altura de capa), tiempos, incidencias y ajustes realizados. Esta evidencia respalda la trazabilidad entre el diseño, la implementación y el desempeño observado en la pieza de prueba.

5.7 Análisis de costos

El análisis de costos correspondiente a la implementación del prototipo de impresora 3D accesible y adaptable se elaboró tomando en cuenta los gastos reales asociados a los componentes y materiales necesarios para su construcción. Dado que el diseño fue

desarrollado integralmente, se priorizó el aprovechamiento de materiales disponibles, la adquisición de componentes de bajo costo y el uso de software libre, con el objetivo de alcanzar una solución tecnológica eficiente sin comprometer la calidad ni la estabilidad del sistema.

El estudio de costos se estructuró con base en tres categorías principales:

- Reciclado: piezas recuperadas de equipos en desuso o estructuras previamente descartadas.
- Reutilizado: componentes aprovechados de proyectos anteriores que fueron adaptados al nuevo diseño.
- Comprado: elementos adquiridos específicamente para la construcción de la impresora 3D.

A continuación, se detalla la lista de partes y materiales empleados en la implementación del prototipo, junto con su costo estimado en colones costarricenses (₡) y dolares (\$).

Tabla 13. Costos de partes para la implementación de la impresora 3D

Componentes	Cantidad	Precio unit. (USD)	Subtotal (USD)	Subtotal (CRC)	Link
Arduino Mega 2560 R3 [versión genérica]	1	34,95	34,95	¢ 17 243,98	https://www.microjpm.com/products/arduino-mega-2560-r3-version-generic/
0.4 mm Nozzle Heater Block Hot End Kit	1	15,95	15,95	¢ 7 869,57	https://www.microjpm.com/products/ad37283/
RAMPS 1.4 Arduino Mega Pololu Shield	1	17,95	17,95	¢ 8 856,35	https://www.microjpm.com/products/ramps-1-4-3d-printer-controller-for-arduino/

Componentes	Cantidad	Precio unit. (USD)	Subtotal (USD)	Subtotal (CRC)	Link
LCD Screen Display Controller For Ender 3 Pro	1	44,95	44,95	¢ 22 177,88	https://www.microjpm.com/products/ad50618/
1.75mm PLA 3D Printer Filament 1KG	1	33,95	33,95	¢ 16 750,59	https://www.microjpm.com/products/ad31006/
Ender 3 Tempered Glass Plate	1	29,95	29,95	¢ 14 777,03	https://www.microjpm.com/products/ad48490/

Componentes	Cantidad	Precio unit. (USD)	Subtotal (USD)	Subtotal (CRC)	Link
Creality Ender 3 Extruder Kit 24V 40W	1	61,95	61,95	¢ 30 565,51	https://www.microjpm.com/products/ad51795/
JK57HS76-2804 Nema Stepper Motor (19Kg - 1.8°)	3	49,95	149,85	¢ 73 934,49	https://www.microjpm.com/products/ad30728/
ER11 Collet Chuck Holder	1	15,95	15,95	¢ 7 869,57	https://www.microjpm.com/products/ad41073/

Componentes	Cantidad	Precio unit. (USD)	Subtotal (USD)	Subtotal (CRC)	Link
RAMPS 1.4 Endstop Limit Switch For 3D Printer	2	3,95	7,90	₡ 3897,78	https://www.microjpm.com/products/ad40272/
GT2 Timing Belt 6mm GT2	1	6,60	6,60	₡ 3256,37	https://www.microjpm.com/products/ad40117/
Pneumatic Fitting Nozzle	1	3,20	3,20	₡ 1578,85	https://www.microjpm.com/products/ad68160/
A4988 Stepper Motor Driver	3	4,95	14,85	₡ 7326,84	https://www.microjpm.com/products/a4988-stepper-motor-driver/

Componentes	Can t.	Preci o unit. (USD)	Subtot al (USD)	Subtot al (CRC)	Link
T8 x 400mm Lead Screw With Brass Nut	1	11,95	11,95	¢ 5 896,01	https://www.microjpm.com/products/ad36056/
Original Ender 3 Pro Aluminum Hot Bed 24VDC	1	39,95	39,95	¢ 19 710,93	https://www.microjpm.com/products/ad43971/
Totales			\$ 489,80	¢ 241 662,42	

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025)

La Tabla 10 resume los componentes y materiales seleccionados para implementar el prototipo de impresora 3D, indicando su costo estimado tanto en dólares (USD) como en colones costarricenses (CRC) y el enlace de compra correspondiente. En la lista se incluyen elementos de control y potencia (Arduino Mega y RAMPS 1.4), interfaz de usuario (pantalla

LCD), componentes del sistema de extrusión e impresión (hotend, boquilla, extrusor, filamento PLA y cama caliente con placa de vidrio), y piezas del movimiento mecánico (motores paso a paso, drivers A4988, correa GT2, husillo T8, finales de carrera y acoples). El total consolidado permite estimar el presupuesto base del prototipo, considerando cantidades específicas (por ejemplo, tres motores NEMA) y accesorios necesarios para el ensamblaje y operación. Los montos deben entenderse como referenciales, ya que pueden variar por disponibilidad, tipo de cambio y condiciones del proveedor.

Tabla 14. Comparación de impresoras 3D comerciales de nivel de entrada y su costo aproximado

Opción Comercial	Precio ref.	Precio aprox. en CRC	Link / fuente
Creality Ender-3 V3 SE	\$179,00	₡88 316,81	Precio en tienda Creality: (https://store.creality.com/products/ender-3-v3-se-3d-printer-live)
Anycubic Kobra 2	\$169,00	₡83 382,91	Precio en Anycubic Store: (https://store.anycubic.com/products/kobra-2)
Original Prusa MINI+ (Enclosure Bundle)	\$508,33	₡250 804,94	Precio en Prusa Store: (https://www.prusa3d.com/product/original-prusa-mini-kit-enclosure-bundle-5/)

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025) Véase Anycubic (Anycubic, 2026), Capris (Capris), Creality (Creality, 2024), Prusa Research (Prusa).

La Tabla 11 presenta una comparación de tres impresoras 3D comerciales disponibles en tiendas oficiales: Creality Ender-3 V3 SE, Anycubic Kobra 2 y Original Prusa MINI+ (Enclosure Bundle). Para cada opción se reporta un precio de referencia en dólares (USD) y su equivalente aproximado en colones costarricenses (CRC), con el fin de facilitar la lectura del costo en el contexto local. Esta comparación permite visualizar diferencias de inversión entre un equipo de entrada (Creality y Anycubic) y una alternativa de mayor costo (Prusa con bundle), manteniendo la trazabilidad mediante el enlace a la fuente de precio. Los montos en CRC deben interpretarse como estimaciones, ya que pueden variar según el tipo de cambio aplicado, impuestos, costos de envío y promociones vigentes al momento de la consulta.

Tabla 15. Tabla comparativa: costo y prestaciones técnicas

Equipo	Precio (USD)	Precio aprox. (CRC)	Volumen de impresión	Auto-nivelación	Extrusión / desempeño declarado	Fuente técnica
Prototipo (BOM del proyecto)	\$489,80	¢241 662,42	Depende del diseño final (la BOM sugiere plataforma tipo Ender)	Nivelación manual	Depende del firmware/ajustes del proyecto	Presupuesto del proyecto

Creality Ender-3 V3 SE	\$179,0 0	Ø88 316,81	220×220×2 50 mm	CR Touch + sensores para nivelación y Z offset	Velocidad máx. declarada 250 mm/s y extrusor directo Sprite	Creality / Capris
Anycubi c Kobra 2	\$169,0 0	Ø83 382,91	250×220×2 20 mm	LeviQ 2.0	Velocidad máx. declarada 250 mm/s; hotbed hasta 110°C y hotend hasta 260°C	Anycubic
Original Prusa MINI+ (Enclosure Bundle)	\$549,0 0 (kit)	Ø270 871,11	180×180×1 80 mm	Nivelación por malla automática (SuperPIND A / load-cell según versión)	Conectividad (USB/RJ-45; Wi-Fi opcional) y ecosistema orientado a consistencia	Prusa

Fuente: Elaboración propia (Vega Moreira , 2025) Véase Anycubic, Capris

(Capris), Creality (Creality, 2024), Prusa Research (Prusa).

La tabla contrasta el prototipo basado en la lista de materiales del proyecto (BOM) con tres opciones comerciales populares, usando criterios prácticos para decidir entre “construir” o “comprar”: costo, volumen de impresión, tipo de nivelación, y desempeño declarado por el

fabricante. En términos de inversión, el prototipo aparece como una alternativa más costosa que las opciones comerciales de entrada (Ender-3 V3 SE y Kobra 2), pero con la diferencia de que su valor no se concentra en un equipo integrado, sino en componentes y modularidad, lo que suele implicar más tiempo de ensamblaje, calibración y ajuste; por eso, su desempeño final queda condicionado por el firmware y la puesta a punto, además de mantener nivelación manual.

En el apartado técnico, la comparación evidencia que las impresoras comerciales priorizan automatización y experiencia de usuario. La Ender-3 V3 SE se presenta con un volumen de 220×220×250 mm e integra CR Touch y sensores para nivelación y ajuste de Z, junto con extrusión directa tipo Sprite y una velocidad máxima declarada de 250 mm/s (Creality, 2024). La Anycubic Kobra 2 ofrece un volumen ligeramente mayor en X (250×220×220 mm) y especifica temperaturas máximas de 260 °C en boquilla y 110 °C en cama, con un enfoque fuerte en velocidad (según ficha, hasta 300 mm/s máx. y 200 mm/s típica); además, dentro de la familia Kobra 2 se reporta el sistema de auto-nivelación LeviQ 2.0 como parte del conjunto de características (Anycubic, 2026). Por su parte, la Original Prusa MINI+ se posiciona más hacia consistencia y control del ecosistema (perfiles y gestión), con volumen 180×180×180 mm, nivelación automática por malla mediante SuperPINDA y conectividad de red (Ethernet con Wi-Fi opcional), lo que la vuelve atractiva cuando se prioriza repetibilidad sobre tamaño o costo (Prusa).

5.7.1 Comparación costo–beneficio

Esta sección desarrolla una comparación entre el prototipo y alternativas comerciales de impresoras 3D de nivel de entrada, con el fin de valorar qué se obtiene a cambio del costo. Para ello, se consideran: (1) la capacidad operativa inmediata (equipo “listo para imprimir” vs.

integración y calibración), (2) el valor formativo y el control técnico que aporta un prototipo, y (3) el costo total de propiedad (TCO), incluyendo logística de importación, soporte y tiempos de puesta en marcha.

1) Costo de adquisición vs. capacidad operativa inmediata

Bajo el criterio de “imprimir cuanto antes”, las opciones comerciales de entrada (Ender-3 V3 SE y Kobra 2) tienden a ofrecer una relación costo–beneficio favorable porque integran en un solo producto mecánica, electrónica, firmware e *húunrefaz*, además de funciones de asistencia como auto-nivelación, lo que reduce el tiempo de puesta en marcha y la dependencia de ajustes avanzados por parte del equipo académico. Por ejemplo, la Ender-3 V3 SE declara 250 mm/s como velocidad máxima y utiliza CR Touch + sensores para nivelación y ajuste de Z offset (Creality, 2024). En el caso de Anycubic Kobra 2, la ficha técnica reporta LeviQ 2.0, volumen 250×220×220 mm, boquilla hasta 260 °C, cama hasta 110 °C, y velocidad 300 mm/s (máx.) / 200 mm/s (típica) (Anycubic, 2026).

En contraste, el prototipo (BOM Bill of Materials (Lista de materiales) \approx \$476,05) representa una inversión mayor que estos equipos de entrada (aprox. 2,66× respecto a Ender-3 V3 SE y 2,82× respecto a Kobra 2, con los precios de referencia indicados). A cambio, su costo no se concentra en un sistema integrado, sino en partes y modularidad, lo que implica ensamble, integración, calibración y validación como parte del “precio real” en tiempo y esfuerzo. En términos prácticos, el prototipo puede no competir por “costo por impresora lista”, sino por “costo por plataforma ajustable y documentable”.

2) Beneficio formativo y control del sistema (ventaja del prototipo)

Desde el enfoque académico, el prototipo puede ofrecer un retorno que una impresora comercial no entrega de forma explícita: control sobre la arquitectura y evidencia directa de competencias de ingeniería. Al construirse desde componentes (controladora, drivers, motores, HMI, firmware), el proyecto permite justificar decisiones técnicas propias, registrar iteraciones, diseñar procedimientos de prueba y generar capacidades internas de operación y soporte.

Esto es especialmente relevante cuando el objetivo del trabajo no es solamente “tener una impresora”, sino demostrar autoría, capacidad de ajuste y comprensión del sistema: la impresora comercial suele “ocultar” la integración (ya resuelta por el fabricante), mientras que el prototipo obliga a explicitar criterios de selección, tolerancias, calibración y mantenimiento. En ese sentido, el valor del prototipo aumenta si el documento logra vincular costos con resultados verificables (calidad de primera capa, repetibilidad, estabilidad térmica, precisión de ejes, etc.).

3) Costo total de propiedad (TCO): logística, impuestos, mantenimiento y tiempos

Para compras internacionales, el precio de tienda es solo una parte del costo final. Anycubic indica que normalmente despacha desde el almacén cercano y, si no hay inventario, puede enviar desde China para completar el pedido, lo cual puede impactar tiempos y condiciones de entrega (Anycubic, 2026). En Prusa, se especifica que los productos se envían desde la República Checa (UE) y que pueden aplicar cargos aduaneros para envíos fuera de la Unión Europea (Prusa). Además, Prusa advierte que, en pedidos fuera de la UE, podrían cobrarse impuestos de importación/aduanas al llegar al país y que el proceso de desaduanaje puede requerir gestión del cliente (incoterms DAP) (Prusa).

Bajo esta lógica, una comparación robusta debe reconocer que:

- Los precios mostrados son referenciales y pueden variar por promociones y tipo de cambio.
- El TCO incluye importación, consumibles, repuestos, fallas, y especialmente tiempo de inactividad (downtime) por soporte o ajustes.
- En el prototipo, el TCO se desplaza hacia “adentro”: herramientas, horas de integración, calibración, pruebas y documentación (aunque parte de ese costo se justifica como valor formativo del proyecto).

4) Riesgo técnico y dependencia de calibración (costo oculto del prototipo)

Un equipo comercial reduce incertidumbre porque llega con una arquitectura probada y con funciones automáticas de asistencia (auto-nivelación, sensores, perfiles) (Creality, 2024). El prototipo, por definición, concentra más riesgo en: compatibilidad de componentes, calidad del ensamble, ajustes de firmware y estabilidad mecánica. Ese riesgo no es necesariamente negativo (es parte del aprendizaje), pero sí debe considerarse como “costo” cuando se evalúa la conveniencia para uso operativo inmediato.

5) Lectura final del costo–beneficio según el objetivo del proyecto

- Si el criterio principal es capacidad inmediata con inversión baja, las opciones de entrada (Creality/Anycubic) suelen ganar por integración, automatización y rapidez de puesta en marcha (Creality, 2024).
- Si el criterio principal es demostración de autoría, control técnico y replicabilidad didáctica, el prototipo puede justificar un costo mayor, siempre que el documento

evidencie resultados técnicos y procedimientos propios (validación, mantenimiento, calibración y soporte interno).

- Si el criterio es consistencia y ecosistema (gestión, conectividad y control de proceso), Prusa se presenta como referencia por su enfoque en conectividad y nivelación por malla (SuperPINDA) y opciones de red (RJ-45; Wi-Fi como accesorio) (Prusa).

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

En relación con el objetivo general, se determina que el proyecto logra materializar una propuesta funcional y coherente con la necesidad institucional de contar con una impresora 3D económicamente accesible, adaptable y con alto potencial didáctico dentro de la Universidad Hispanoamericana. El prototipo se concibe desde una lógica abierta y replicable, orientada a disminuir la dependencia de soluciones comerciales cerradas, facilitando la personalización, el mantenimiento y la comprensión integral del sistema por parte de estudiantes y docentes. Aun así, el impacto pleno sobre el fortalecimiento del aprendizaje, el prototipado y la innovación queda ligado a la consolidación de resultados experimentales y a la adopción sostenida del equipo en escenarios académicos reales, lo cual requiere ciclos adicionales de uso y evaluación.

1. Respecto al Objetivo específico 1, la identificación de necesidades técnicas y académicas se aborda de forma consistente desde el planteamiento del problema y la justificación: se reconoce que el acceso limitado por costos, la dificultad de personalización y la escasa autonomía técnica asociada a equipos comerciales constituyen barreras para integrar la impresión 3D como herramienta formativa. La definición de estas necesidades permite orientar el proyecto hacia una solución enfocada no solo en “tener una máquina operativa”, sino en disponer de una plataforma que sirva como recurso formativo para ensamble, diagnóstico, calibración y mantenimiento, con valor para carreras y cursos que requieren prototipado rápido.

2. En cuanto al Objetivo específico 2, la investigación y selección de componentes se alinea con el criterio de accesibilidad económica y funcionalidad, ya que se prioriza una arquitectura ampliamente conocida en el ecosistema FDM y compatible con herramientas open-source. Esta decisión técnica incrementa la disponibilidad de repuestos, reduce costos de adquisición frente a alternativas propietarias y favorece la trazabilidad del sistema (pines, conectores, drivers, periféricos), lo cual resulta clave para un entorno universitario donde la sostenibilidad depende de poder reemplazar, diagnosticar y mejorar partes sin depender exclusivamente de soporte externo.
3. Sobre el Objetivo específico 3, el diseño del prototipo desde cero se desarrolla con una lógica modular por subsistemas (control, potencia, movimiento, extrusión e interfaz), lo cual favorece la adaptabilidad para distintos proyectos académicos y facilita tareas de mantenimiento preventivo y correctivo. Se evidencia intención técnica de incorporar criterios de eficiencia y seguridad mediante una aproximación sistemática de puesta en marcha y verificación (eléctrica, movimiento, finales de carrera y control térmico), lo que permite reducir riesgos típicos de la implementación de equipos FDM y mejorar la confiabilidad operativa.
4. En atención al Objetivo específico 4, la implementación del prototipo integra los elementos esenciales para operar una impresora FDM: alimentación, control, movimiento por ejes y extrusión, incorporando una estructura de validación progresiva que permite detectar fallos antes de llegar a impresión completa. La operatividad se sustenta en la integración del firmware y en la compatibilidad entre electrónica y periféricos, lo que habilita el control del sistema bajo una plataforma

estándar; por ello, se considera que el prototipo alcanza un nivel de funcionalidad pertinente para fines de demostración, uso didáctico y prototipado básico.

5. En relación con el Objetivo específico 5, el proyecto define una ruta de pruebas técnicamente adecuada (verificación “de fuera hacia adentro”, calibraciones críticas y una impresión guía como confirmación), sin embargo, el cumplimiento integral de este objetivo depende de la presentación de evidencia experimental consolidada. Cuando no se cuenta con registros cuantificados de repetibilidad, precisión dimensional, estabilidad térmica sostenida y comparaciones objetivas de calidad de impresión, la evaluación queda limitada a validaciones funcionales iniciales. De igual manera, la compatibilidad con distintos materiales suele requerir más tiempo de operación, disponibilidad de consumibles y perfiles ajustados; por tanto, si el documento aún no incluye esa batería completa de resultados, el objetivo debe considerarse alcanzado de forma parcial por restricciones de tiempo, recursos o alcance experimental.
6. Con respecto al Objetivo específico 6, el análisis costo–beneficio se fundamenta adecuadamente en el levantamiento y clasificación de costos del prototipo (comprado, reutilizado y reciclado), lo cual permite sustentar la accesibilidad económica de la solución. No obstante, para completar plenamente el componente “beneficio comparado” se requiere incorporar una comparación directa con alternativas comerciales equivalentes, utilizando precios actuales, supuestos explícitos y criterios comparables de mantenimiento, durabilidad y retorno educativo. Si esa comparación no se encuentra desarrollada en tablas y escenarios realistas, el objetivo se considera parcial, dado que el beneficio institucional a

mediano plazo depende de variables que solo se estiman con referencias de mercado y con experiencia acumulada de uso.

7. En el marco del Objetivo específico 7, se integra una interfaz HMI basada en LCD con encoder y firmware Marlin como base para un control más intuitivo del equipo, lo que es coherente con la necesidad de operación autónoma por parte de usuarios no especializados. A nivel de integración, el objetivo se cumple al establecer una estructura de control para funciones esenciales (movimiento, temperatura y parámetros relevantes). Sin embargo, la validación “optimizada” desde la perspectiva del usuario requiere evidencias de usabilidad (pruebas con usuarios, tiempos de tarea, errores frecuentes, mejoras de navegación y depuración de menús), por lo que, si dichas evidencias no se han incorporado formalmente, la validación completa queda condicionada a una fase posterior de pruebas de campo.
8. En cuanto al Objetivo específico 8, la elaboración de una guía de uso o manual técnico se considera un aporte central del proyecto, pues convierte el prototipo en una herramienta replicable y sostenible. La inclusión de instrucciones de ensamble, operación, mantenimiento preventivo y resolución básica de errores fortalece la autonomía técnica y reduce la dependencia de conocimiento informal. Este componente resulta especialmente valioso para la institución, ya que no solo habilita el uso inmediato del equipo, sino que también facilita su incorporación como recurso pedagógico, al permitir que los usuarios comprendan el “por qué” de ajustes y calibraciones, y no solo el “cómo” de operar.
9. En atención al Objetivo específico 9, la documentación del proceso de diseño e implementación se consolida como base para mejoras y réplicas, porque deja

trazabilidad de decisiones técnicas, arquitectura seleccionada y criterios de validación. Este registro ordenado incrementa la transferibilidad del proyecto a otros contextos dentro de la misma universidad, y permite que futuros equipos de trabajo comprendan el estado del prototipo, los ajustes realizados y las recomendaciones de operación, reduciendo la probabilidad de retrocesos técnicos o reinicios innecesarios.

10. Finalmente, sobre el Objetivo específico 10, el enfoque de mejora continua se encuentra planteado y justificado desde la necesidad de reducir fallos recurrentes y facilitar mantenimiento; sin embargo, su implementación completa depende de contar con un historial suficiente de incidencias, mediciones y retroalimentación de usuarios en operación real. En prototipos FDM, la mejora continua adquiere valor cuando se documentan patrones de fallo, se estandarizan correcciones y se valida el efecto de cada cambio con métricas repetibles. Por ello, si el proyecto aún no incorpora ciclos completos de evaluación–ajuste–reevaluación con datos comparables, este objetivo debe considerarse parcialmente alcanzado, quedando como línea de trabajo posterior para madurar el prototipo en contexto institucional.

6.2 Recomendaciones

Para fortalecer el componente experimental y cerrar brechas asociadas al Objetivo 5, se recomienda implementar un plan de pruebas con criterios de aceptación explícitos y registros cuantificables. Esto incluye repetir impresiones bajo condiciones controladas, medir precisión dimensional en piezas patrón, documentar repetibilidad de resultados y registrar estabilidad térmica durante periodos prolongados. La utilidad académica del prototipo aumenta significativamente cuando los resultados se sustentan con evidencia, ya que permite utilizar el equipo no solo para “imprimir”, sino para enseñar control de variables, calibración y diagnóstico con base en datos.

Con el fin de robustecer la compatibilidad con distintos materiales y reducir fallos recurrentes, se recomienda estructurar una validación progresiva por niveles: iniciar con un material base (por ejemplo, PLA) hasta estabilizar perfiles y calibraciones, y posteriormente ampliar a un segundo material con requerimientos térmicos distintos, documentando ajustes de temperatura, ventilación, retracción y velocidad. En caso de que el hardware o el entorno de uso limiten el trabajo con materiales más exigentes, se sugiere declarar formalmente el alcance material del prototipo y justificarlo según seguridad, disponibilidad y propósito didáctico, evitando prometer capacidades que no estén respaldadas por pruebas.

Para completar el Objetivo 6 de manera sólida, se recomienda construir una matriz comparativa con 2 o 3 impresoras comerciales equivalentes, incorporando: inversión inicial, facilidad de mantenimiento, disponibilidad de repuestos, costos de consumibles, garantías, limitaciones de personalización y valor educativo. Esta comparación debe sustentarse en cotizaciones verificables y en supuestos transparentes (por ejemplo, horas estimadas de uso anual y costos de reemplazo de piezas críticas). Con ello, el documento puede demostrar no solo

que el prototipo es más accesible al inicio, sino que su propuesta es competitiva en sostenibilidad y retorno formativo.

Para consolidar el alcance del Objetivo 7, se recomienda validar la interfaz HMI mediante pruebas breves de usabilidad con usuarios representativos (docentes y estudiantes), evaluando tareas frecuentes como: homing, precalentamiento, movimiento manual, carga/descarga de filamento, inicio/pausa/reanudación y ajuste de parámetros. A partir de los hallazgos, conviene depurar menús, reducir opciones innecesarias y priorizar rutas de navegación claras, ya que una interfaz sencilla disminuye errores operativos, mejora la experiencia del usuario y reduce tiempo de capacitación.

En términos de seguridad y operación estable, se recomienda formalizar un checklist previo a cada sesión que incluya inspección de cableado, fijación mecánica, estado de conectores, ventilación de drivers, verificación de finales de carrera y validación de protecciones térmicas del firmware. Esta recomendación es especialmente relevante en un contexto universitario, donde distintos usuarios pueden operar el equipo y la estandarización de procedimientos reduce riesgos, fallos por uso indebido y tiempos de inactividad.

Para potenciar el valor institucional del manual (Objetivo 8) y aumentar la replicabilidad (Objetivo 9), se recomienda ampliar el documento con secciones cortas de mantenimiento por periodicidad (por horas de uso), fallas frecuentes con causa probable y solución, y una lista mínima de repuestos críticos sugeridos para asegurar continuidad operativa. Asimismo, conviene incorporar un control de versiones para firmware, perfiles de impresión y modificaciones mecánicas, de manera que cada cambio quede documentado con fecha, motivo y resultado esperado; esto facilita que futuros responsables puedan dar seguimiento sin perder trazabilidad.

Finalmente, para ejecutar plenamente el Objetivo 10, se recomienda implementar un ciclo formal de mejora continua tipo PDCA (Plan–Do–Check–Act) basado en incidencias reales y métricas comparables. El plan debe definir qué variables se desean mejorar (calidad de primera capa, reducción de atascos, estabilidad térmica, precisión dimensional), qué acción concreta se aplicará, cómo se medirá el resultado y en qué condiciones se repetirá la prueba. Con ello, el prototipo evolucionará de una implementación funcional a una plataforma madura, con desempeño más predecible, menor tasa de fallos y mayor facilidad de mantenimiento, lo que maximiza su aporte como recurso didáctico y tecnológico dentro de la Universidad Hispanoamericana.

Bibliografía

- Ahmad, N. N, Wong, Y. H, & Ghazali, N. N. N. (2022). *A systematic review of fused deposition modeling process parameters*. Retrieved from Soft Science:
<https://www.oaepublish.com/articles/ss.2022.08>
- Airspayce. (n.d.). *AccelStepper Class Reference*. Retrieved from
<https://www.airspayce.com/mikem/arduino/AccelStepper/classAccelStepper.html>
- Analog Devices, Inc. (2025, octubre 2). *TMC2209 — Silent stepper motor driver IC [Ficha técnica]*. Retrieved from <https://www.analog.com/en/products/tmc2209.html>
- Anycubic. (2026, enero 28). *Anycubic Kobra 2 – Tech specs*. Retrieved from
<https://store.anycubic.com/products/kobra-2>
- Anycubic. (2026). *Anycubic Kobra 2; .* Retrieved from
<https://store.anycubic.com/products/kobra-2>
- Anycubic. (2026, enero 28). *Shipping policy*. Retrieved from
<https://store.anycubic.com/pages/shipping-policy>
- Arduino. (2025, mayo 09). *analogRead() (referencia de lenguaje)*. Retrieved from
<https://docs.arduino.cc/language-reference/en/functions/analog-io/analogRead>
- Arduino. (2025, junio 12). *Serial.begin() (referencia de comunicación serial)*. Retrieved from
<https://docs.arduino.cc/language-reference/en/functions/communication/serial/begin/>
- Arduino. (2026). *Arduino Mega 2560 Rev3 datasheet (A000067)*. Retrieved from
<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000067-datasheet.pdf>

- Arduino. (2026). *Mega 2560 Rev3 (documentación de hardware y especificaciones)*. Retrieved from <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>
- Arduino. (2026). *pinMode() / INPUT_PULLUP (referencia de lenguaje)*. Retrieved from <https://docs.arduino.cc/language-reference/en/variables/constants/inputOutputPullup>
- Berman , B. (2012). *3-D printing: The new industrial revolution. Business Horizons, 55(2), 155-162*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007681311001790?via%3Dihub>
- Bisquerra Alzina, R. (2004). *Metodología de la investigación educativa*. LA MURALLA, S.A. Colección. Retrieved from https://www.academia.edu/36453994/RAFAEL_BISQUERRA_ALZINA_Coordinador?
- Blikstein, P. (2013). *Digital Fabrication and 'Making' in Education*. Alemania : Transcript Publishers (Bielefeld, Alemania).
- Bobo García , R. (2013, Septiembre). *Diseño de una impresora 3D capaz de crear multiples objetos simultáneamente;*. Retrieved from https://oa.upm.es/30327/1/PFC_13406046_Rafael_Bobo_Garcia_.pdf
- Brown, T. (2009, Septiembre 29). *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation*. HarperBusiness;. Retrieved from https://www.amazon.com/Change-Design-Transforms-Organizations-Innovation/dp/0061766089?utm_source=chatgpt.com

- Cabrera-Frías, L., & Córdova-Esparza, D. (2023, septiembre 25). *La impresión 3D como herramienta educativa para desarrollar el pensamiento creativo: revisión sistemática*; Retrieved from <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura//index.php/apertura/article/view/2382/1599?>
- Capris. (n.d.). *CREALITY ENDER-3 V3 SE / 1001020503 IMPRESORA 3D ABIERTA FDM 250MM/S VOLUMEN 220X220X250MM 350W 110/220V*. Retrieved from <https://www.capris.cr/en/creality-ender-3-v3-se-1001020503-impresora-3d-abierta-fdm-250mm-s-volumen-220x220x250mm-350w-110-220v-075517.html>
- Castañeda Becerra, F. (2022, Octubre). *Informe de Investigación: Impresión 3D*; Retrieved from https://wiki.ead.pucv.cl/Informe:Impresi%C3%B3n_3D/_Franco_Casta%C3%B1eda_Becerra
- Chua, C. K. (2010). *Rapid prototyping: Principles and applications* (3rd ed ed.). World Scientific.
- Chua, C. K., & Leong, K. F. (n.d.). *3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications* (5th ed.). Retrieved from <https://doi.org/10.1142/10266>
- Chua, C., & Leong, K. (2016). *3D Printing and Additive Manufacturing*. Retrieved from WORLD SCIENTIFIC eBooks: <https://doi.org/10.1142/10200>
- Chua, C., & Leong, K. (2017). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Singapore: Springer Science+Business Media.

COGITISE. (2025, abril 16). *COGITISE acerca la ingeniería a las aulas de 3.500 jóvenes sevillanos. Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos Industriales de España*. Retrieved from <https://cogiti.es/cogitise-acerca-la-ingenieria-a-las-aulas-de-3-500-jovenes-sevillanos/>

Creality. (2024). *Creality Ender-3 V3 SE VS Ender 3 V3 KE*. Retrieved from <https://www.creality3dofficial.com/blogs/news/creality-ender-3-v3-se-vs-ender-3-v3-ke?srsltid=AfmBOoqpFSeB838wRR18hbeNQUynXBk-mGJ1Z31Zhk1UCUqOChgoViA8&utm>

Creality. (n.d.). *Ender-3 V3 SE 3D printer*. Retrieved from <https://store.creality.com/products/ender-3-v3-se-3d-printer>

Creswell, J. W. (2013). *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches*; . Retrieved from https://books.google.co.cr/books?id=Ykruxor10cYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches (4th ed.)*; . SAGE Publications.

De la Cruz Campos , J. C., Campos , M. N., Rodríguez , C., & Ramos , M. (2022, Junio). *Impresión 3D en educación. Perspectiva teórica y experiencias en el aula*. Retrieved from <https://centracs.es/revista/article/view/16>

documentation, W. -K. (n.d.). Retrieved from <https://www.klipper3d.org>

- Doloi, S. D. (2025). *Democratizing self-driving labs: advances in low-cost 3D printing for laboratory automation*. Retrieved from Digital Discovery:
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2025/dd/d4dd00411f>
- Duet3D Documentation. (n.d.). *Duet 2 WiFi and Ethernet Hardware Overview*. Retrieved from Duet3D Documentation:
https://docs.duet3d.com/Duet3D_hardware/Duet_2_family/Duet_2_WiFi_Ethernet_Hardware_Overview
- Dumas, M. (2018). *Fundamentals of Business Process Management* (Vol. Segunda Edición). Springer.
- E3D. (2025, diciembre 18). *E3D homepage*. Retrieved from <https://e3d-online.com/>
- El País. (2025, mayo 8). *Artcesible Advanced, o cómo visibilizar el arte para quien no lo puede ver*. Retrieved from <https://elpais.com/economia/formacion/2025-05-08/artcesible-advanced-o-como-visibilizar-el-arte-para-quien-no-lo-puede-ver.html>
- Ford, S., & Minshall, T. (2019, enero). *Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. Additive Manufacturing*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214860417304815?via%3Dihub>
- Funes Gonzalez , R. E., Vásquez Cibrián , J. C., & Torres Martinez, F. A. (2017, Septiembre). *DISEÑO Y ENSAMBLE DE IMPRESORA 3D CON TECNOLOGIA INALAMBRICA, POR ESTUDIANTES DE TÉCNICO EN HARDWARE, PARA LABORATORIO DE*

IMPRESIÓN 3D, DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE EL SALVADOR.

Retrieved from <https://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/tesis/941001051.pdf>

Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (n.d.). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing (2nd ed.)*. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>

Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing (2.ª ed.)*. Springer Science+Business Media.

Gualacata Gualacata, L. F. (n.d.). *DISEÑO Y ENSAMBLE DE IMPRESORA 3D CON TECNOLOGIA INALAMBRICA, POR ESTUDIANTES DE TÉCNICO EN HARDWARE, PARA LABORATORIO DE IMPRESIÓN 3D, DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE EL SALVADOR*. Retrieved from <https://www.utec.edu.sv/repositorio/ejemplo-url>

Hernández Sampieri, R. F. (2014). *Metodología de la investigación (6.ª ed.)*. McGraw-Hill Educación.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2009). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana.

Hubner, K. (2018, marzo). *Polar Cloud Guide* . Retrieved from <https://s3.amazonaws.com/polar3d-content/pdf/polar-guide.pdf>

Impresoras3d.com. (2024, abril 15). *Partes de una impresora 3D*; Retrieved from [impresoras3d.com: https://www.impresoras3d.com/partes-de-una-impresora-3d/](https://www.impresoras3d.com/partes-de-una-impresora-3d/)

- Impresoras3d.com. (2025, febrero 18). *Mejores Hotends para impresora 3D de 2025 [Actualizado]*. Retrieved from <https://www.impresoras3d.com/guia-mejores-hotends-para-impresora-3d/>
- ISO/ASTM 52900:2021. (n.d.). *Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/74514.html>
- Klipper. (2025, octubre 2). *Documentación de Klipper*. Retrieved from <https://www.klipper3d.org>
- Livesu, M., Ellero, S., Martínez, J., Lefebvre, S., & Attene, M. (2017). *From 3D models to 3D prints: an overview of the processing pipeline*. Retrieved from Computer Graphics Forum: <https://doi.org/10.1111/cgf.13147>
- Marlin Firmware. (2025, octubre 2). *Documentación de Marlin*. Retrieved from <https://marlinfw.org>
- Marlin Firmware. (2026). *Installing Marlin (PlatformIO / VS Code)*. Retrieved from https://marlinfw.org/docs/basics/install_platformio_vscode.html
- Marlin Firmware. (2026). *M119 — Endstop States*. Retrieved from <https://marlinfw.org/docs/gcode/M119.html>
- Marlin Firmware. (2026). *M303 — PID autotune*. Retrieved from <https://marlinfw.org/docs/gcode/M303.html>
- Marlin Firmware. (2026). *M500 — Save Settings / EEPROM*. Retrieved from <https://marlinfw.org/docs/gcode/M500.html>

MarlinFirmware. (n.d.). *Home. Marlin Firmware*. Retrieved from <https://marlinfw.org>

McCauley, M. (2026). *AccelStepper library* . Retrieved from

<https://docs.arduino.cc/libraries/accelstepper>

Micro JPM. (2025). *(1220mm) GT2 Timing Belt 6mm GT2*. Retrieved from

<https://www.microjpm.com/products/ad40117/>

Micro JPM. (2025). *A4988 Stepper Motor Driver*; . Retrieved from

<https://www.microjpm.com/products/a4988-stepper-motor-driver/>

Micro JPM. (2025). *Arduino Mega 2560 R3 [VERSION GENERICA]*; . Retrieved from

<https://www.microjpm.com/products/arduino-mega-2560-r3-version-generic/>

Micro JPM. (2025). *Creativity Ender 3 Extruder Kit 24V @ 40W*; . Retrieved from

<https://www.microjpm.com/products/ad51795/>

Micro JPM. (2025). *Ender 3 Tempered Glass Plate*. Retrieved from

<https://www.microjpm.com/products/ad48490/>

Micro JPM. (2025). *LCD Screen Display Controller For 3D Ender 3 Pro*. Retrieved from

<https://www.microjpm.com/products/ad50618/>

Micro JPM. (2025). *Original Ender 3 Pro Aluminum Hot Bed 24VDC*. Retrieved from

<https://www.microjpm.com/products/ad43971/>

Micro JPM. (2025). *RAMPS 1.4 Arduino Mega Pololu Shield For 3D Printer SainSmart*.

Retrieved from <https://www.microjpm.com/products/ramps-1-4-3d-printer-controller-for-arduino/>

- Micro JPM. (2025). *T8 x 400mm Lead Screw With Brass Nut*. Retrieved from <https://www.microjpm.com/products/ad36056/>
- MicroJPM S.A. (2025). *JK57HS76-2804 Nema 23 Stepper Motor (19Kg - 1.8°)*. Retrieved from <https://www.microjpm.com/products/ad30728/>
- MicroJPM S.A. (n.d.). *RAMPS 1.4 Endstop Limit Switch For 3D Printer*; Retrieved from <https://www.microjpm.com/products/ad40272/>
- Monash University. (2024, diciembre 3). *Helping hands: Guidelines to support teachers 3D print for blind students*. Retrieved from <https://www.monash.edu/news/articles/helping-hands-guidelines-to-support-teachers-3d-print-for-blind-students>
- Monroy-Peláez, R. Á., Juárez-Acosta, I., Miralrio, A., & Montes de Oca, S. (2025). *Implementation of 3D printing as a didactic tool for problem solving of engineering systems and devices*. Retrieved from *Frontiers In Education*; <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1541586>
- Mouser Electronics. (n.d.). *NEMA 23 Motores a pasos*. Retrieved from https://www.mouser.co.cr/c/electromechanical/motors-drives/stepper-motors/?frame%20size%20-%20nema=NEMA%2023&srsltid=AfmBOorhpB6K9vMX3dV_zsOs1iFUpZr7uVPZNRJV9kLgWHafcOP50SMI

- NIOSH. (2023). *Approaches to safe 3D printing: a guide for makerspace users, schools, libraries, and small businesses*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2024-103/default.html>
- olikraus. (2024, junio 1). *RAMPS 1.4*. Retrieved from https://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4
- Olikraus. (2026). *u8g2setupcpp*. Retrieved from <https://github.com/olikraus/u8g2/wiki/u8g2setupcpp>
- Perry , C. (1998). *A Structured Approach for Presenting Theses*; . Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S144135829870240X?utm_source=chatgpt.com
- Pololu. (n.d.). *A4988 Stepper Motor Driver Carrier, Black Edition*. Retrieved from <https://www.pololu.com/product/2128>
- Prusa. (n.d.). *Original Prusa MINI+ Semi-assembled 3D Printer - Enclosure Bundle*. Retrieved from <https://www.prusa3d.com/product/original-prusa-mini-3/>
- Prusa Research. (n.d.). *FAQ – Orders*. Retrieved from https://help.prusa3d.com/article/faq-orders_394366
- RepRap. (n.d.). Retrieved from <https://reprap.org/wiki/RepRap>
- RepRap. (2025, octubre 2). *RAMPS 1.4 — RepRap Wiki*. Retrieved from https://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4
- RepRAP. (n.d.). *Arduino Mega Pololu Shield*. Retrieved from https://reprap.org/wiki/Arduino_Mega_Pololu_Shield

- RepRAP. (n.d.). *RAMPS 24v*. Retrieved from https://reprap.org/wiki/RAMPS_24v
- RepRap Wiki. (2022, abril 18). *RepRapDiscount Full Graphic Smart Controller (128×64)*. Retrieved from https://reprap.org/wiki/RepRapDiscount_Full_Graphic_Smart_Controller
- Store, A. O. (n.d.). *Arduino Mega 2560 Rev3 – 54 Digital I/O, 16 analog inputs, 256KB Flash*. Retrieved from <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3?srsId=AfmBOoryYVf7NSQJF9W6VImIzSQk-QjxrJVm1r3yNZ4OmkaJBU6GYQa0>
- Tamayo y Tamayo , M. (2005). *El proceso de la investigación científica (5.ª ed.)*.: Limusa.
- Thinkyhead. (2026, enero 23). *Auto home. Marlin Firmware*. Retrieved from <https://marlinfw.org/docs/gcode/G028.html>
- Trochim, W. M. (2005). *esearch methods: The concise knowledge base. Atomic Dog Publishing*. Retrieved from <https://conjointly.com/kb/>
- UH. (n.d.). *Laboratorio de Ingenieria 4.0*. Retrieved from <https://uh.ac.cr/desarollocompetencias/detalle/laboratorio-de-ingenieria-4-0>
- UH. (n.d.). *Laboratorios*. Retrieved from <https://uh.ac.cr/desarollocompetencias/detalle/laboratorios>
- Uh. (n.d.). *TEPS*. Retrieved from <https://uh.ac.cr/desarollocompetencias/detalle/teps>
- Vega Moreira , A. E. (2025). *Elaboración propia*.

Voxel. (n.d.). *Marlin/Marlin at master · Voxel8/Marlin*. Retrieved from GitHub:

<https://github.com/Voxel8/Marlin/blob/master/Marlin>

Wikipedia contributors. (2023). *E-NABLE*. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved

from https://en.wikipedia.org/wiki/Enabling_the_Future

Wikipedia contributors. (2025). *Prusa i3*. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved

from https://en.wikipedia.org/wiki/Prusa_i3

Wikipedia contributors. (2025). *Polar Cloud*. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved

from https://en.wikipedia.org/wiki/Polar_Cloud

Glosario

- Acople flexible: Conector mecánico que compensa pequeñas desalineaciones entre motor y husillo.
- Adhesión (a la cama): Capacidad de la primera capa para pegarse a la superficie de impresión.
- All-metal (hotend): Diseño de hotend sin PTFE en la zona caliente, apto para mayores temperaturas.
- Altura de capa: Espesor de cada capa impresa; determina detalle y tiempo.
- Arduino Mega + RAMPS: Plataforma de control basada en Arduino con shield RAMPS para impresoras 3D.
- Babystepping: Ajuste fino del eje Z durante la impresión para mejorar la primera capa.
- Bastidor (frame): Estructura de perfiles que da rigidez a la impresora.
- Bed (cama): Superficie donde se deposita el material; puede ser calefactable.
- Bed mesh (malla de cama): Mapa de alturas usado para compensar irregularidades en la cama.
- BLTouch (sensor): Sonda de autonivelación por contacto.
- Boquilla / Nozzle: Orificio del hotend (p. ej., 0,4 mm) por donde sale el filamento fundido.
- Bowden: Configuración donde el extrusor empuja el filamento a través de un tubo PTFE hasta el hotend.
- CAD (diseño asistido): Software para modelar piezas 3D.
- Cama calefactable: Superficie con calentamiento controlado para mejorar adhesión y reducir warping.

- Capa (layer): Estrato de material depositado en cada pasada del proceso FDM.
- Chasis: Conjunto estructural que soporta módulos y electrónica.
- Correa GT2: Banda dentada para transmitir movimiento en ejes X/Y.
- Cura / PrusaSlicer (laminadores): Programas que convierten STL/OBJ a G-code.
- Dimensión (metrología): Medida verificada de una pieza impresa.
- Direct drive: Extrusor montado sobre el cabezal (sin tubo largo de PTFE).
- DLP (Digital Light Processing): Tecnología de fotopolimerización con proyector de luz.
- E-steps: Pasos por mm del extrusor; definen cuánto filamento se empuja.
- EEPROM: Memoria donde el firmware guarda parámetros persistentes.
- E-Stop (paro de emergencia): Interruptor para cortar energía/operación de forma inmediata.
- Extrusor: Mecanismo que tracciona el filamento (rueda moleteada + motor).
- Firmware (Marlin/Klipper): Software de tiempo real que controla la impresora.
- Flow (flujo): Porcentaje de material extruido respecto al teórico; se ajusta en el slicer.
- Fusible / mini-breaker: Protección eléctrica ante sobrecorriente.
- Fuente conmutada (PSU): Alimentación de 24 V DC para electrónica, cama y hotend.G-code: Lenguaje de control de máquinas; describe movimientos, temperaturas y acciones.
- Ghosting: Ondas/sombras en paredes por vibración o estructura poco rígida.
- Heat-creep: Calentamiento indeseado hacia la zona fría del hotend que provoca atascos.
- Hotend: Conjunto calentado que funde el filamento y lo expulsa por la boquilla.

- Husillo T8: Tornillo trapezoidal que convierte giro en movimiento lineal del eje Z.
- Idler (polea loca): Rodillo guía que mantiene alineada y tensada la correa.
- IEC (conector): Estándar de entrada de alimentación AC con interruptor/fusible.
- Infill (relleno): Estructura interna de la pieza que define resistencia y tiempo.
- Jerk / Junction deviation: Parámetros que gobiernan cambios bruscos de velocidad en movimiento.
- Junta neumática (PC4-M6/M10): Racor “push-fit” para sujetar el tubo PTFE.
- Layer shifting (capas desplazadas): Pérdida de pasos o deslizamiento que desalinean la pieza.
- Linear advance: Función que compensa presión en el filamento para mejorar esquinas.
- Likert (escala): Escala de medición de actitudes/percepciones (1–5, 1–7...).
- MOSFET: Transistor de potencia para conmutar cama/hotend/ventiladores.
- NC (normalmente cerrado): Lógica de cableado que abre el circuito al activarse; más segura ante fallos.
- NEMA 17: Tamaño estándar de motor paso a paso usado en impresoras 3D.
- Nozzle (boquilla): Ver Boquilla.
- Offset Z: Desfase fino de la altura Z para ajustar la primera capa.
- Open-source: Tecnología con diseño/código abierto para uso y modificación libre.
- Overhang (voladizo): Zona que se imprime “en el aire”; requiere enfriamiento/soportes.
- PCB (placa de circuito impreso): Placa que organiza y distribuye señales/energía.
- PC4-M6: Racor de 4 mm para tubo PTFE con rosca M6.
- Perímetro (wall): Pared externa/intermedia de la pieza.

- Perfil 2020/2040: Perfil de aluminio con ranura (V-slot) para bastidores.
- Perfiles de impresión: Conjunto de parámetros guardados en el slicer (material/calidad).
- PETG: Filamento resistente y tenaz; menos quebradizo que PLA.
- PID (Kp, Ki, Kd): Coeficientes del controlador para estabilizar temperatura.
- PLA: Filamento fácil de imprimir, biodegradable y de baja contracción.
- PlatformIO: Entorno para compilar/cargar firmwares (p. ej., Marlin).
- Polaridad: Orientación (+/-) correcta en conexiones eléctricas.
- PSU (Power Supply Unit): Ver Fuente conmutada.
- Puesta a tierra: Conexión del chasis a tierra para seguridad eléctrica.
- Racor (push-fit): Conector rápido para tubo PTFE.
- RepRap: Comunidad/proyecto de impresoras 3D autorreplicables y open-source.
- SLA (estereolitografía): Fotopolimerización por láser punto a punto.
- SLS (sinterización selectiva por láser): Funde polvo con láser para formar capas.
- Sensor: Dispositivo que mide una magnitud y la convierte en señal eléctrica.
- SpreadCycle / StealthChop: Modos de los drivers TMC para torque/ruido.
- SSR (relé de estado sólido): Conmutador electrónico sin partes móviles.
- Steps/mm: Pasos de motor necesarios para recorrer 1 mm; se calibra por eje y extrusor.
- Stringing: Hilos finos entre zonas por temperatura alta o retracción insuficiente.
- TMC2209: Driver de motor paso a paso con control por UART y funciones avanzadas.
- TPU: Filamento flexible; requiere parámetros de retracción conservadores.
- UART: Protocolo serial usado para configurar/monitorizar drivers TMC.

- Ventilador de capa: Enfría el material recién depositado para mejorar puentes y detalles.
- Ventilador de disipador: Enfría el cuerpo del hotend para evitar heat-creep.
- V-slot: Perfil de aluminio con canal en V para ruedas y accesorios.
- Vref / IRMS: Parámetros de corriente en drivers TMC; ajustan torque y temperatura.
- Vibración: Movimiento indeseado que degrada la calidad (ghosting).
- Warping: Alabeo por contracción térmica; se mitiga con cama caliente/adhesivos.
- Wi-Fi: Tecnología para interconexión inalámbrica de dispositivos.
- Ejes X/Y/Z: Direcciones cartesianas de movimiento de la impresora.
- Z-wobble: Patrón ondulado en Z por husillo/acople desalineado o mal fijado.

Anexo

Anexo A-Cuestionario Estructurado

Información General del participante:

- Edad: _____
- Sexo: Masculino Femenino Otro
- Área de formación académica: _____
- Rol institucional: Docente Estudiante
- Año o nivel académico: _____

Instrucciones:

A continuación encontrará preguntas relacionadas con la implementación de tecnologías de impresión 3D en la Universidad Hispanoamericana. Por favor, responda cada pregunta honestamente según su percepción y experiencia.

Utilice la siguiente escala Likert:

(1) Totalmente en desacuerdo (2) En desacuerdo (3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo (4) De acuerdo (5) Totalmente de acuerdo

Sección I: Condiciones actuales de uso de tecnologías 3D

Ítem Pregunta	1 2 3 4 5
1 Actualmente, la universidad dispone de recursos suficientes para impresión 3D en proyectos académicos.	□ □ □ □ □
2 Los recursos externos para impresión 3D (proveedores comerciales) resultan accesibles económicamente para proyectos académicos.	□ □ □ □ □

Ítem	Pregunta	1	2	3	4	5
3	La falta de acceso a una impresora 3D limita significativamente la calidad de mis proyectos académicos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	La universidad cuenta con personal técnico capacitado para operar y mantener equipos avanzados como impresoras 3D.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sección II: Necesidades académicas y expectativas

Ítem	Pregunta	1	2	3	4	5
5	Considero fundamental contar con una impresora 3D propia en los laboratorios de la universidad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Una impresora 3D facilitaría considerablemente la realización de prototipos y experimentos académicos en mi área de estudio.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Contar con tecnología de impresión 3D interna impulsaría la innovación y creatividad en estudiantes y docentes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sección III: Percepción técnica y operativa

Ítem	Pregunta	1	2	3	4	5
8	Creo que la universidad posee infraestructura adecuada para la instalación y operación de una impresora 3D básica.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Estaría dispuesto/a capacitarme para aprender a operar y mantener una impresora 3D en caso de implementarse.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Considero viable que la universidad implemente exitosamente una solución tecnológica propia como la propuesta.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sección IV: Preguntas abiertas (opcional)

- ¿Qué sugerencias específicas daría para la implementación de la impresora 3D en la Universidad Hispanoamericana?
- ¿Qué limitaciones adicionales identifica para la implementación de esta tecnología?
- Agregue cualquier comentario adicional que considere relevante para esta propuesta:

Anexo B - Entrevista Semiestructurada

Información General:

- Fecha: _____
- Nombre del entrevistado: _____
- Cargo/posición académica: _____
- Años de experiencia en el cargo: _____

Preguntas orientadoras:

Sobre la situación actual

1. Desde su perspectiva, ¿cuáles son las principales limitaciones que enfrenta actualmente la Universidad Hispanoamericana en relación con el uso de tecnologías de impresión 3D?
2. ¿Cómo evalúa actualmente la capacidad tecnológica y operativa de los laboratorios para realizar proyectos académicos que requieran impresión 3D?
3. ¿De qué manera considera que influye la falta de equipos internos en la calidad educativa, el desarrollo de competencias técnicas y la innovación estudiantil?

Sobre necesidades académicas específicas

4. ¿Qué necesidades específicas observa en los estudiantes y docentes respecto al uso de impresoras 3D para proyectos académicos?

5. En relación con el contexto institucional actual, ¿cuáles serían los principales beneficios educativos que aportaría contar con una impresora 3D propia y accesible?

Sobre aspectos técnicos y operativos

6. Según su experiencia, ¿qué tipo de funciones o características técnicas serían imprescindibles para que una impresora 3D sea efectiva en un entorno académico?
7. Considerando la infraestructura actual, ¿existen recursos técnicos internos suficientes para dar soporte al mantenimiento y operación básica de una impresora 3D?

Sobre expectativas y percepción futura

8. ¿Cuál es su opinión sobre la propuesta institucional de diseñar e implementar internamente una impresora 3D accesible para uso académico?
9. Desde su rol, ¿qué condiciones considera que deberían cumplirse para garantizar el éxito en la implementación y uso sostenido de esta tecnología?
10. ¿Desea agregar alguna sugerencia adicional o comentario relevante respecto a la propuesta del proyecto?

Anexo C - Cotizaciones y facturas de compra de los componentes

Figura 38. Factura de compra de los componentes

Producto	Cantidad	Precio por unid.	Total
Creality Ender 3 Extruder Kit 24V @ 40W	1	US\$61,95	US\$61,95
LCD Screen Display Controller For 3D Ender 3 Pro	1	US\$44,95	US\$44,95
Original Ender 3 Pro Aluminum Hot Bed 24VDC	1	US\$39,95	US\$39,95
Ender 3 Tempered Glass Plate	1	US\$29,95	US\$29,95
0.4mm Nozzle Heater Block Hot End Kit	1	US\$15,95	US\$15,95
(390mm) GT2 Timing Belt 6mm GT2	1	US\$6,50	US\$6,50
T8 x 400mm Lead Screw With Brass Nut	1	US\$11,95	US\$11,95
ER11 Collet Chuck Holder (C16-ER11-35L)	1	US\$15,95	US\$15,95
RAMPS 1.4 Arduino Mega Pololu Shield For 3D Printer SainSmart	1	US\$17,95	US\$17,95
PC4-M6 Pneumatic Fitting Nozzle	1	US\$3,20	US\$3,20
1.75mm PLA White 3D Printer Filament 1KG (Blanco 1.75mm, PLA: 1Kg)	1	US\$33,95	US\$33,95
JK57HS76-2804 Nema 23 Stepper Motor (19Kg - 1.8°)	3	US\$49,95	US\$149,85
A4988 Stepper Motor Driver	3	US\$4,95	US\$14,85
RAMPS 1.4 Endstop Limit Switch For 3D Printer	2	US\$3,95	US\$7,90
Arduino Mega 2560 R3 [VERSION GENERICA]	1	US\$34,95	US\$34,95
Tipo de pago: Efectivo (Pago contra Entrega)			US\$0,00
Método de envío: Retirar En Tienda MicroJPM Cartago			US\$0,00
Total			US\$489,80

Fuente: (Micro JPM, 2025)

Anexo D – Configuración “base funcional” (Mega + RAMPS 1.4 + A4988 + Bed 24V)

- SERIAL / IDENTIDAD

```
*****/
```

```
#define SERIAL_PORT 0
```

```
#define BAUDRATE 250000
```

```
#define CUSTOM_MACHINE_NAME "UH_FDM_RAMPS_MARLIN"
```

```
*****
```

- PLACA (RAMPS 1.4)

```
*****/
```

```
#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
```

```
*****
```

- EXTRUSORES

```
*****/
```

```
#define EXTRUDERS 1
```

```
#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75
```

```
*****
```

- DRIVERS (A4988)

```
*****/
```

```
#define X_DRIVER_TYPE A4988
```

```
#define Y_DRIVER_TYPE A4988
```

```
#define Z_DRIVER_TYPE A4988
```

```
#define E0_DRIVER_TYPE A4988
```

```

/*****

```

- DIMENSIONES (perfil Ender3)

```

*****/

```

```

#define X_BED_SIZE 220

```

```

#define Y_BED_SIZE 220

```

```

#define X_MIN_POS 0

```

```

#define Y_MIN_POS 0

```

```

#define Z_MIN_POS 0

```

```

#define X_MAX_POS X_BED_SIZE

```

```

#define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE

```

```

#define Z_MAX_POS 300

```

```

/*****

```

- ENDSTOPS

```

*****/

```

```

#define USE_XMIN_PLUG

```

```

#define USE_YMIN_PLUG

```

```

#define USE_ZMIN_PLUG

```

```

#define ENDSTOPPULLUPS

```

```
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING false
```

```
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING false
```

```
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING false
```

```
/******
```

- DIRECCIONES

```
*****/
```

```
#define INVERT_X_DIR false
```

```
#define INVERT_Y_DIR false
```

```
#define INVERT_Z_DIR false
```

```
#define INVERT_E0_DIR false
```

```
/******
```

- PASOS POR MM (base típica: GT2 20T, 1/16; Z T8 lead 8mm)

```
*****/
```

```
// X/Y: 80 suele ser correcto para GT2 20T @16 microsteps.
```

```
// Z: 400 para T8 lead 8mm @16 microsteps.
```

```
// E: 95 es un punto de partida
```

```
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80.00, 80.00, 400.00, 95.00 }
```

```
/******
```

- VELOCIDADES / ACELERACIONES

```
*****/
```

```

#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 200, 200, 8, 25 }

#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 600, 600, 60, 800 }

#define DEFAULT_ACCELERATION 500

#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 800

#define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 600

/*****

    • TEMPERATURA (hotend + cama)

    *****/

#define TEMP_SENSOR_0 1

#define TEMP_SENSOR_BED 1

#define HEATER_0_MAXTEMP 275

#define BED_MAXTEMP 120

// Protecciones (dejar habilitadas)

#define THERMAL_PROTECTION_HOTENDS

#define THERMAL_PROTECTION_BED

/*****

    • LCD 128x64 (RepRapDiscount Full Graphic)

    *****/

#define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER

#define SDSUPPORT

```

**Anexo E - Programa de interfaz LCD/HMI para operación local (RAMPS 1.4 + LCD
128x64 + encoder)**

```
#include <U8g2lib.h>
```

```
#include <Encoder.h>
```

```
// =====
```

```
// RAMPS 1.4 + Arduino Mega + RepRapDiscount FULL GRAPHIC
```

```
// =====
```

```
// --- LCD ST7920 (3-wire, "SW SPI") ---
```

```
// clock(E)=23, data(RW)=17, cs(RS)=16, reset=no conectado
```

```
U8G2_ST7920_128X64_1_SW_SPI u8g2(
```

```
  U8G2_R0,
```

```
  /* clock=*/ 23,
```

```
  /* data =*/ 17,
```

```
  /* CS =*/ 16,
```

```
  /* reset=*/ U8X8_PIN_NONE
```

```
);
```

```
// --- Encoder del panel (BTN_EN1/BTN_EN2/BTN_ENC) ---
```

```
#define ENCODER_A 31
```

```
#define ENCODER_B 33

#define ENCODER_SW 35

Encoder enc(ENCODER_A, ENCODER_B);

const int ENCODER_STEPS_PER_NOTCH = 4;

// ===== SIMULACIÓN DE IMPRESORA =====

float hotendActual = 24.5;

float bedActual = 24.5;

float hotendTarget = 0.0;

float bedTarget = 0.0;

int posX = 0, posY = 0, posZ = 0;

// ===== UI / MENÚ =====

enum Screen {

    SCR_READY,

    SCR_MAIN,

    SCR_MOVE_MENU,

    SCR_TEMP_MENU,

    SCR_JOG_X,
```

```
SCR_JOG_Y,  
  
SCR_JOG_Z,  
  
SCR_SET_HOTEND,  
  
SCR_SET_BED  
  
};  
  
Screen screen = SCR_READY;  
  
int menuIndex = 0;  
  
// Items  
  
const char* MAIN_ITEMS[] = { "Move", "Temperature", "Back" };  
  
const int MAIN_COUNT = 3;  
  
const char* MOVE_ITEMS[] = { "Jog X", "Jog Y", "Jog Z", "Auto Home", "Back" };  
  
const int MOVE_COUNT = 5;  
  
const char* TEMP_ITEMS[] = { "Preheat PLA", "Set Hotend", "Set Bed", "Back" };  
  
const int TEMP_COUNT = 4;  
  
// ===== Encoder delta =====  
  
long lastEncRaw = 0;  
  
int readEncoderDelta() {
```

```
long raw = enc.read();

long diff = raw - lastEncRaw;

if (diff >= ENCODER_STEPS_PER_NOTCH) {

    lastEncRaw += ENCODER_STEPS_PER_NOTCH;

    return +1;

}

if (diff <= -ENCODER_STEPS_PER_NOTCH) {

    lastEncRaw -= ENCODER_STEPS_PER_NOTCH;

    return -1;

}

return 0;

}

// ===== Debounce botón (click event) =====

const uint32_t DEBOUNCE_MS = 30;

int btnStable = HIGH;

int btnLast = HIGH;

uint32_t lastDebounce = 0;
```

```
bool clickEvent = false;

void updateButton() {

    int reading = digitalRead(ENCODER_SW);

    if (reading != btnLast) lastDebounce = millis();

    if ((millis() - lastDebounce) > DEBOUNCE_MS) {

        if (reading != btnStable) {

            btnStable = reading;

            if (btnStable == LOW) clickEvent = true; // click al presionar

        }

    }

    btnLast = reading;

}

bool consumeClick() {

    if (clickEvent) {

        clickEvent = false;

        return true;

    }

}
```

```
return false;

}

// ===== Utilidades =====

int wrapIndex(int idx, int count) {

    if (idx < 0) return count - 1;

    if (idx >= count) return 0;

    return idx;

}

int clampInt(int v, int lo, int hi) {

    if (v < lo) return lo;

    if (v > hi) return hi;

    return v;

}

float clampFloat(float v, float lo, float hi) {

    if (v < lo) return lo;

    if (v > hi) return hi;
```

```
return v;

}

// ===== Dibujo =====

void drawReady() {

    u8g2.setFont(u8g2_font_6x10_tr);

    u8g2.setCursor(0, 10);

    u8g2.print(">> SYSTEM READY <<");

    u8g2.setCursor(0, 26);

    u8g2.print("Hotend: ");

    u8g2.print(hotendActual, 1);

    u8g2.print("/");

    u8g2.print(hotendTarget, 0);

    u8g2.print("C");

    u8g2.setCursor(0, 38);

    u8g2.print("Bed:  ");

    u8g2.print.bedActual, 1);

    u8g2.print("/");
```

```
u8g2.print(bedTarget, 0);

u8g2.print("C");

u8g2.setCursor(0, 50);

u8g2.print("X:");

u8g2.print(posX);

u8g2.print(" Y:");

u8g2.print(posY);

u8g2.print(" Z:");

u8g2.print(posZ);

u8g2.setCursor(0, 62);

u8g2.print("> Click to Menu");

}

void drawMenu(const char* title, const char* const items[], int count, int selected) {

    u8g2.setFont(u8g2_font_6x10_tr);

    u8g2.setCursor(0, 10);

    u8g2.print("[ ");

    u8g2.print(title);
```

```
u8g2.print(" ]");

int visible = 4;

int start = 0;

if (count > visible) {

    start = selected - (visible / 2);

    if (start < 0) start = 0;

    if (start > count - visible) start = count - visible;

}

for (int i = 0; i < visible; i++) {

    int idx = start + i;

    if (idx >= count) break;

    int y = 24 + (i * 10);

    u8g2.setCursor(0, y);

    if (idx == selected) u8g2.print("> ");

    else u8g2.print(" ");

    u8g2.print(items[idx]);

}
```

```
u8g2.setCursor(0, 62);

u8g2.print("Rotate=Select Click=OK");

}

void drawEditInt(const char* title, int value, const char* unit) {

    u8g2.setFont(u8g2_font_6x10_tr);

    u8g2.setCursor(0, 10);

    u8g2.print("[ ");

    u8g2.print(title);

    u8g2.print(" ]");

    u8g2.setCursor(0, 32);

    u8g2.print("Value: ");

    u8g2.print(value);

    if (unit) {

        u8g2.print(" ");

        u8g2.print(unit);

    }

}
```

```
u8g2.setCursor(0, 62);

u8g2.print("Rotate=Adjust Click=Back");

}

void drawEditTemp(const char* title, float actual, float target) {

    u8g2.setFont(u8g2_font_6x10_tr);

    u8g2.setCursor(0, 10);

    u8g2.print("[ ");

    u8g2.print(title);

    u8g2.print(" ]");

    u8g2.setCursor(0, 30);

    u8g2.print("Actual: ");

    u8g2.print(actual, 1);

    u8g2.print(" C");

    u8g2.setCursor(0, 42);

    u8g2.print("Target: ");

    u8g2.print(target, 0);
```

```
u8g2.print(" C");

u8g2.setCursor(0, 62);

u8g2.print("Rotate=Adjust Click=Back");

}

// ===== Setup / Loop =====

void setup() {

  u8g2.begin();

  pinMode(ENCODER_SW, INPUT_PULLUP);

  lastEncRaw = enc.read();

}

void loop() {

  updateButton();

  int d = readEncoderDelta();

  bool click = consumeClick();

  switch (screen) {

    case SCR_READY:

      if (click) { screen = SCR_MAIN; menuIndex = 0; }
```

```
break;
```

```
case SCR_MAIN:
```

```
if (d) menuIndex = wrapIndex(menuIndex + d, MAIN_COUNT);
```

```
if (click) {
```

```
    if (menuIndex == 0) { screen = SCR_MOVE_MENU; menuIndex = 0; }
```

```
    else if (menuIndex == 1) { screen = SCR_TEMP_MENU; menuIndex = 0; }
```

```
    else { screen = SCR_READY; menuIndex = 0; }
```

```
}
```

```
break;
```

```
case SCR_MOVE_MENU:
```

```
if (d) menuIndex = wrapIndex(menuIndex + d, MOVE_COUNT);
```

```
if (click) {
```

```
    if (menuIndex == 0) screen = SCR_JOG_X;
```

```
    else if (menuIndex == 1) screen = SCR_JOG_Y;
```

```
    else if (menuIndex == 2) screen = SCR_JOG_Z;
```

```
    else if (menuIndex == 3) { posX = 0; posY = 0; posZ = 0; }
```

```
    else { screen = SCR_MAIN; menuIndex = 0; }
```

```
}  
  
break;  
  
case SCR_TEMP_MENU:  
  
if (d) menuIndex = wrapIndex(menuIndex + d, TEMP_COUNT);  
  
if (click) {  
  
if (menuIndex == 0) {  
  
hotendTarget = 210;  
  
bedTarget = 60;  
  
} else if (menuIndex == 1) {  
  
screen = SCR_SET_HOTEND;  
  
} else if (menuIndex == 2) {  
  
screen = SCR_SET_BED;  
  
} else {  
  
screen = SCR_MAIN; menuIndex = 0;  
  
}  
  
}  
  
break;
```

```
case SCR_JOG_X:
```

```
    if (d) posX = clampInt(posX + d, -200, 200);
```

```
    if (click) screen = SCR_MOVE_MENU;
```

```
    break;
```

```
case SCR_JOG_Y:
```

```
    if (d) posY = clampInt(posY + d, -200, 200);
```

```
    if (click) screen = SCR_MOVE_MENU;
```

```
    break;
```

```
case SCR_JOG_Z:
```

```
    if (d) posZ = clampInt(posZ + d, -50, 50);
```

```
    if (click) screen = SCR_MOVE_MENU;
```

```
    break;
```

```
case SCR_SET_HOTEND:
```

```
    if (d) hotendTarget = clampFloat(hotendTarget + (5 * d), 0, 260);
```

```
    if (click) screen = SCR_TEMP_MENU;
```

```
    break;
```

```
case SCR_SET_BED:
```

```
if (d) bedTarget = clampFloat(bedTarget + (5 * d), 0, 110);

if (click) screen = SCR_TEMP_MENU;

break;

}

if (hotendActual < hotendTarget) hotendActual += 0.5;

else if (hotendActual > hotendTarget) hotendActual -= 0.5;

if (bedActual < bedTarget) bedActual += 0.3;

else if (bedActual > bedTarget) bedActual -= 0.3;

u8g2.firstPage();

do {

    switch (screen) {

        case SCR_READY:    drawReady(); break;

        case SCR_MAIN:    drawMenu("MAIN MENU", MAIN_ITEMS, MAIN_COUNT,
menuIndex); break;

        case SCR_MOVE_MENU: drawMenu("MOVE", MOVE_ITEMS, MOVE_COUNT,
menuIndex); break;

        case SCR_TEMP_MENU: drawMenu("TEMP", TEMP_ITEMS, TEMP_COUNT,
menuIndex); break;
```

```
case SCR_JOG_X:   drawEditInt("JOG X", posX, "mm"); break;

case SCR_JOG_Y:   drawEditInt("JOG Y", posY, "mm"); break;

case SCR_JOG_Z:   drawEditInt("JOG Z", posZ, "mm"); break;

case SCR_SET_HOTEND: drawEditTemp("HOTEND", hotendActual, hotendTarget);
break;

case SCR_SET_BED:  drawEditTemp("BED", bedActual, bedTarget); break;

}

} while (u8g2.nextPage());

}
```

Tabla 16. Mapeo funcional de señales LCD/HMI hacia pines del Arduino Mega (RAMPS

1.4)

Subsistema	Señal / Función	Definición típica (Marlin)	Pin Arduino Mega	Observación
LCD ST7920 (Serial/SPI)	CS (Chip Select)	LCD_PINS_RS	D16	En U8g2 se usa como CS del display.
LCD ST7920 (Serial/SPI)	CLK (Clock / E)	LCD_PINS_ENABLE	D17	En U8g2 se usa como clock.
LCD ST7920 (Serial/SPI)	DATA (Data / RW)	LCD_PINS_D4	D23	En U8g2 se usa como data.
Encoder	EN1	BTN_EN1	D31	Si gira “invertido”, se intercambia EN1↔EN2.
Encoder	EN2	BTN_EN2	D33	Entrada del encoder (cuadratura).
Encoder	Click (pulsador)	BTN_ENC	D35	Normalmente se usa con INPUT_PULLUP.
Alarma	Buzzer	BEEPER_PIN	D37	Señal acústica del panel (si se habilita).

Subsistema	Señal / Función	Definición típica (Marlin)	Pin Arduino Mega	Observación
Seguridad	Kill / Stop	KILL_PIN	D41	Entrada de paro (si el panel lo incorpora/usa).
SD (panel)	Detección SD	SD_DETECT_PIN	D49	Detecta inserción de tarjeta.
SD (panel)	SPI MISO	AVR_MISO_PIN	D50	Bus SPI hardware del Mega.
SD (panel)	SPI MOSI	AVR_MOSI_PIN	D51	Bus SPI hardware del Mega.
SD (panel)	SPI SCK	AVR_SCK_PIN	D52	Bus SPI hardware del Mega.
SD (panel)	SPI SS (SDSS)	SDSS	D53	Selección del módulo SD (según configuración).

Fuente: elaboración propia (Vega Moreira , 2025)